

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Automatización de un prototipo secador de cacao con  
energía solar, en la comunidad de Bucay.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electrónica y Automatización**

Presentado por:

Kevin Daniel Calderón Ramírez

Johann Eduardo Medina Sánchez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico principalmente a Dios por permitirme continuar adelante cada día. A mi madre, quien vive siempre en mi corazón y mis recuerdos, por ser la motivación de todos mis días y por su amor incondicional. A mi padre por sus grandes consejos y su apoyo absoluto durante toda mi carrera. A mi hermana por convertirse en mi mejor amiga y maestra de vida. Finalmente quiero dedicar este trabajo a la memoria de mis abuelitos, fuentes de inspiración, sabiduría y buenos valores.

**Kevin Calderón Ramírez**

Este proyecto se lo dedico a mis padres, por el apoyo incondicional durante todo momento de la carrera. A mis hermanos, que me incentivan a seguir adelante.

**Johann Medina Sánchez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por siempre brindarme la fuerza necesaria para continuar con cada una de mis metas. A nuestro tutor Msc. Alexander Prieto por su guía y consejos para el desarrollo de este proyecto. A la Dra. Emérita Delgado por confiar en nuestro proyecto y facilitarnos las herramientas para la implementación del mismo. A ESPOL por brindarme grandes experiencias tanto personales como académicas. A mi familia y amigos por acompañarme en mis buenos y malos momentos. Además, agradezco a cada uno de los docentes de mi universidad por su tiempo, dedicación y conocimientos brindados.

**Kevin Calderón Ramírez**

Agradezco a mi familia por todo su apoyo y comprensión a lo largo de mi vida.

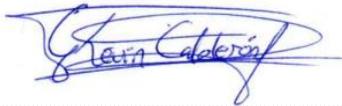
A nuestro tutor, el Msc. Alexander Prieto, por su guía para la culminación de este proyecto.

A mis amigos por brindarme ánimos durante toda mi vida universitaria.

**Johann Medina Sánchez**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kevin Calderón Ramírez y Johann Medina Sánchez damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Kevin Calderón Ramírez



Johann Medina Sánchez

## EVALUADORES



---

**PhD. Wilton Edixon Agila Gálvez**  
PROFESOR DE LA MATERIA



---

**Msc. Alexander Prieto León**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Los pequeños productores de cacao actualmente realizan el secado del grano mediante tendales, por ello, se enfrentan a diversos retos durante el proceso, los cuales son el tiempo de secado y la exposición del producto frente factores externos como lluvia y polvo. Dichos factores son comunes en la comunidad Bucay por lo que los investigadores del proyecto INEDITA han desarrollado una estructura mecánica de un secador híbrido para mejorar la calidad del grano, sin embargo, el problema radica en que el funcionamiento del prototipo se ve limitado por el accionamiento manual de instrumentos como: ventiladores, resistencias y extractores.

El proyecto tiene como objetivo realizar la implementación de un sistema de control para el secador de cacao con energía solar a través del uso de equipamiento e instrumentación industrial, en la comunidad de Bucay, para la reducción del consumo energético garantizando un proceso eficiente. Además, del uso de una interfaz HMI que sea amigable con el usuario, la cual permite efectuar el monitoreo de los sensores en tiempo real.

Con los resultados obtenidos se evidenció la fiabilidad de la instrumentación seleccionada a través del tiempo de operación del prototipo, las pruebas realizadas permitieron someter a los sensores a elevadas temperaturas en donde se comprobó que estos mantienen sus características lineales en la lectura de las variables físicas, en consecuencia, la respuesta de los sensores, junto con la programación realizada, garantiza un funcionamiento adecuado del sistema de control de secado.

Además, con el uso del controlador Logo y la interfaz HMI, se garantizó la robustez del proceso facilitando el monitoreo y control del mismo, de forma que se mejora el proceso y se obtuvo un producto con mejor sabor, color y aroma, y con estándares de calidad ganando competitividad en el mercado mejorando la productividad.

**Palabras Clave:** HMI, Monitoreo, Cacao, Sensores

## **ABSTRACT**

*Small cocoa producers currently dry their cocoa beans on drying lines, and therefore face several challenges during the process, such as drying time and exposure of the product to external factors such as rain and dust. These factors are common in the Bucay community, so the researchers of the INEDITA project have developed a mechanical structure of a hybrid dryer to improve grain quality; however, the problem lies in the fact that the operation of the prototype is limited by the manual operation of instruments such as fans, resistors, and extractors.*

*The project aims to implement a control system for the cocoa dryer with solar energy through the use of industrial equipment and instrumentation, in the community of Bucay, to reduce energy consumption and ensure an efficient process. In addition, the use of a user-friendly HMI interface allows monitoring the sensors in real-time. With the results obtained, the reliability of the selected instrumentation was evidenced through the operation time of the prototype, the tests performed allowed subjecting the sensors to high temperatures where it was verified that they maintain their linear characteristics in the reading of the physical variables, consequently, the response of the sensors, together with the programming performed, guarantees an adequate operation of the drying control system.*

*In addition, with the use of the Logo controller and the HMI interface, the robustness of the process was guaranteed, facilitating its monitoring and control, thus improving the process and obtaining a product with better flavor, color, and aroma, and with quality standards, gaining competitiveness in the market by improving productivity.*

*Keywords: HMI, Monitoring, Cocoa, Sensors*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO 1 .....	13
1.    Introducción .....	13
1.1    Descripción del problema .....	14
1.2    Justificación del problema .....	15
1.3    Objetivos .....	15
1.3.1    Objetivo General .....	15
1.3.2    Objetivos Específicos.....	16
1.4    Marco teórico.....	16
1.4.1    Secado de cacao: .....	16
1.4.2    Tipos de Secado de Cacao: .....	17
1.4.3    Automatización en Secadores de Cacao.....	19
1.4.4    Características del cacao que dependen del secado artificial o natural.	21
1.4.5    Sensores o elementos de Medición: .....	22
1.4.6    Control On/Off para la variable temperatura:.....	25
1.4.7    Energía solar fotovoltaica.....	25
1.4.8    Controlador Lógico Programable:.....	26
1.4.9    HMI (Interfaz de Usuario) .....	28

CAPÍTULO 2 .....	30
2. Metodología .....	30
2.1 Análisis del sistema secador de granos .....	31
2.2 Selección de la Instrumentación .....	32
2.2.1 Selección del controlador. ....	33
2.2.2 PLC LOGO.....	35
2.3 Selección de sensores.....	37
2.3.1 Sensor Capacitivo de humedad .....	37
2.3.2 Sensor de temperatura .....	38
2.3.3 Sensor de voltaje .....	40
2.3.4 Sensor de corriente.....	41
2.4 Multiplexor Analógico.....	43
2.5 Actuadores .....	44
2.5.1 Extractores y Ventiladores .....	44
2.5.2 Resistencia de calentamiento .....	45
2.6 Diseño de los diagramas .....	47
2.6.1 Diagrama de Flujo.....	47
2.6.2 Circuito de Control de Secado de Cacao .....	49
2.7 Esquema del Generador de ondas cuadradas.....	53
2.8 Dimensionamiento del sistema de energía fotovoltaico .....	55
2.8.1 Cantidad de paneles solares .....	56
2.8.2 Selección de batería .....	56
2.9 Circuito de Potencia .....	57
2.10 Programación en PLC LOGO .....	58
2.10.1 Entradas y salidas del PLC LOGO .....	58
2.10.1 Encendido del Sistema .....	59

2.10.2	Multiplexación de señales analógicas .....	60
2.10.3	Control de Temperatura y Humedad. ....	63
2.10.4	Registro de datos en Microsoft Excel. ....	65
2.10.5	Registro de valores configurados por el usuario.....	66
2.11	Pantallas HMI .....	67
2.11.1	Programación para la pantalla de configuración de parámetros. ....	67
2.11.2	Programación para las pantallas del sistema funcionado. ....	69
2.11.3	Programación para la pantalla de configuración.....	74
2.12	Montaje y puesta a punto. ....	75
CAPÍTULO 3 .....		79
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	79
3.1	Placa electrónica para el acondicionamiento de sensores y generador de onda. 79	
3.2	Lectura de las mediciones de los sensores del sistema de monitoreo del secador de granos.....	80
3.3	Pruebas de funcionamiento del sistema. ....	83
3.3.1	Prueba #1 utilizando una resistencia calefactora. ....	83
3.3.2	Prueba #2 utilizando dos resistencias calefactoras. ....	90
3.3.3	Prueba de validación final utilizando dos resistencias calefactoras. ....	96
3.4	Análisis de costo del Sistema .....	106
CAPÍTULO 4 .....		108
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	108
4.1	Conclusiones:.....	108
4.2	Recomendaciones:.....	109
BIBLIOGRAFÍA .....		111
ANEXOS .....		113

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VDC	Voltaje de Corriente Directa
VAC	Voltaje de Corriente Alterna
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
PLC	Controlador Lógico Programable
ANECACAO	Asociación Nacional de Exportadores de Cacao
ICCO	Organización Internacional de Cacao
UV	Ultravioleta
CC	Corriente Continua

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
mV	Milivoltio
Kw	Kilo-vatio
mA	Miliamperio
g	gramo
°C	Grado centígrado
A	Amperio
V	Voltio
mm	milímetro
W	Vatio
s	Segundo
Hz	Hercio
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Secador de Bandeja [6] .....	19
Figura 1-2: Secador de Túnel [6] .....	20
Figura 1-3: Secador Rotatorio [7].....	21
Figura 1-4: Proceso Fotovoltaico [19] .....	26
Figura 1-5: Estructura interna de un PLC [22].....	28
Figura 2-1: Diseño de metodología.....	30
Figura 2-2: Estructura mecánica del secador de granos de cacao.....	31
Figura 2-3: Ubicación de sensores de humedad y temperatura dentro de la cámara de secado.....	32
Figura 2-4: Diagrama de señales de sensores al PLC.....	35
Figura 2-5: PLC Logo. ....	36
Figura 2-6: Sensor de Humedad.....	37
Figura 2-7: Curva de salida de voltaje Vs Humedad relativa.....	38
Figura 2-9: Sensor de Temperatura con el transmisor. ....	39
<b>Figura 2-10: Curva de salida del sensor de temperatura</b> .....	39
<b>Figura 2-11: Clases de exactitud del sensor de temperatura PT-100[26]</b> .....	40
Figura 2-12: Sensor de voltaje.....	40
Figura 2-13: Diagrama y conexión del sensor de corriente .....	42
<b>Figura 2-14: Sensor de corriente SCT-013</b> .....	42
Figura 2-15: Multiplexor analógico 74HC4067. ....	44
<b>Figura 2-16: a) Ventilador Electric Life. b) Extractor de aire Shyuan Ya</b> .....	44
Figura 2-17: Resistencia eléctrica.....	46
Figura 2-18: Diagrama de flujo de la programación. ....	47
Figura 2-19: Diagrama de control del secado de cacao.....	49
Figura 2-20: Diagrama de conexión para sensores de temperatura PT100 .....	51
Figura 2-21: Diagrama de conexión para sensores por medio del multiplexor analógico. .....	52
Figura 2-22: Diagrama esquemático del generador de ondas cuadradas. ....	53
Figura 2-23: Señales del generador obtenidas en el osciloscopio. ....	54
Figura 2-24: Características del Panel Solar de 340W de la marca Hersic International. .....	56

Figura 2-25: Características de la batería de la marca Bless Power. ....	56
Figura 2-26: Diagrama esquemático del sistema fotovoltaico. ....	57
Figura 2-27: Programación en bloques para el encendido del sistema. ....	59
Figura 2-28: Señales para identificar el dato de humedad o temperatura entregado por el multiplexor analógico .....	60
Figura 2-29: Diagrama de flujo del proceso de lectura de la entrada analógica AI2..	61
Figura 2-30: Diagrama de flujo para el control de temperatura y humedad.....	63
Figura 2-31: Lectura de sensor de corriente y voltaje para el cálculo de la potencia.	64
Figura 2-32: Registro de datos .....	65
Figura 2-33: Registro de temperatura y tiempo de secado .....	66
Figura 2-34: Programación de la pantalla para configurar el tiempo de secado y temperatura de operación.....	67
Figura 2-35: Pantalla para la configuración de parámetros.....	68
Figura 2-36: Diagrama de flujo de la programación para las pantallas de la HMI del sistema en funcionamiento. ....	69
Figura 2-37: Pantalla #1 del secador funcionado.....	70
Figura 2-38: Pantalla #2, se muestra el estado de los actuadores.....	70
Figura 2-39: Pantalla #3, se muestra los valores de las temperaturas dentro de la cámara de secado y temperatura promedio.....	71
Figura 2-40: Pantalla #4, comparación de las diferentes temperaturas dentro de la cámara de secado.....	71
Figura 2-41: Pantalla #5, se muestra los valores de humedad dentro de la cámara de secado y humedad promedio.....	72
Figura 2-42: Pantalla #6, comparación entre las humedades medidas dentro de la cámara de secado. ....	72
Figura 2-43: Pantalla #7, comparación entre las humedades medidas dentro de la cámara de secado .....	73
Figura 2-44: Pantalla #8, comparación entre las humedades medidas dentro de la cámara de secado.....	73
Figura 2-45: Programación para la pantalla de aviso.....	74
Figura 2-46: Pantalla para finalizar el proceso de secado.....	74
Figura 2-47: Circuito electrónico para el control del multiplexor analógico.....	75

Figura 2-48: a) Señal digital correspondiente a la entrada selectora S1 del multiplexor analógico. b) Señal digital correspondiente a la entrada selectora S0 del multiplexor analógico.....	76
Figura 2-49: Comparación de mediciones de temperatura entre el sistema de control y termómetro con datalogger REED SD-947.....	76
Figura 2-50: Comparación de mediciones de humedad.....	77
Figura 2-51: Puesta en marcha del circuito de control. ....	77
Figura 2-52: Puesta en marcha del sistema.....	78
Figura 3-1: Placa electrónica de acondicionamiento.....	79
Figura 3-2: a) Pantalla de configuración del proceso. b) Pantalla de operación del proceso. ....	80
Figura 3-3: a) Se muestra el valor de las temperaturas medidas por los sensores. b) Se muestra las temperaturas en barras con un rango de 0-80 °C .....	81
Figura 3-4: a) Se muestra el valor de las humedades medidas por los sensores. b) Se muestra las temperaturas en barras con un rango de 0-100 %.....	81
Figura 3-5: Humedad y temperatura promedio del sistema graficados en barras. ....	82
Figura 3-6: Estado de los actuadores del sistema (ventilador, extractor, resistencia 1 y resistencia 2). ....	82
Figura 3-7: Estado de los actuadores del sistema (ventilador, extractor, resistencia 1 y resistencia 2). ....	83
Figura 3-8: Bandejas con muestra de cacao fermentado.....	84
Figura 3-9: Cámara de secado .....	84
Figura 3-10: Comparativa de la humedad relativa en el sistema durante el ensayo 1 .....	85
Figura 3-11: Gráficas de humedad relativa con respecto al tiempo durante el ensayo 1. ....	86
Figura 3-12: Comparativa de temperatura del sistema durante el ensayo 1. ....	87
Figura 3-13: Gráficas de temperatura con respecto al tiempo durante el ensayo 1. .	88
Figura 3-14: Granos de caco luego de 4 horas de secado.....	89
Figura 3-15: Comparativa de la humedad relativa en el sistema durante el ensayo 2. ....	90
Figura 3-16: Graficas de humedad relativa con respecto al tiempo durante el ensayo 2. ....	91

Figura 3-17: Comparativa de temperatura del sistema durante el ensayo 2. ....	92
Figura 3-18: Gráficas de temperatura con respecto al tiempo durante el ensayo 2 ..	93
Figura 3-19: Porcentajes de trabajo de los actuadores durante el control on/off del ensayo 2.....	95
Figura 3-20: Bandejas con muestra de cacao fermentado.....	97
Figura 3-21: Secador con las bandejas .....	97
Figura 3-22: Bandejas con muestra de cacao después del proceso de secado.....	98
Figura 3-23: Gráficas de Temperatura con respecto al tiempo .....	99
Figura 3-24: Comparativa de temperatura del sistema durante el ensayo final.....	100
Figura 3-25: Gráficas de Humedad relativa con respecto al tiempo .....	101
Figura 3-26: Comparativa de la humedad relativa en el sistema durante el ensayo final. ....	102
Figura 3-27: Porcentajes de trabajo de los actuadores durante el control on/off del ensayo 2.....	104
Figura 3-28: Porcentajes de trabajo de los actuadores durante el control on/off del ensayo 2.....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tabla comparativa de los controladores .....	34
Tabla 2-2: Características del PLC Logo. ....	36
Tabla 2-3: Características del Sensor de Humedad.....	37
Tabla 2-4: Características del Multiplexor.....	43
Tabla 2-5: Elementos del sistema Fotovoltaico.....	55
Tabla 2-6: Estimación del consumo de corriente de los componentes del Sistema ..	55
Tabla 2-7: Lista de entradas del PLC LOGO .....	58
Tabla 2-8: Lista de salidas del PLC LOGO .....	58
Tabla 3-1: Promedio por hora de humedad y temperatura en el ensayo 1.....	85
Tabla 3-2: Peso del cacao antes y después del proceso de secado.....	89
Tabla 3-3: Resumen de los resultados del ensayo 1. ....	89
Tabla 3-4: Promedio por hora de humedad y temperatura en el ensayo 2.....	90
Tabla 3-5: Peso del cacao antes y después del proceso de secado.....	94
Tabla 3-6: Peso del cacao antes y después del proceso de secado.....	94
Tabla 3-7: Duración de encendido y apagado de las resistencias durante cada hora de funcionamiento. Estimación de potencia consumida por las resistencias en cada hora de funcionamiento .....	94
Tabla 3-8: Peso Comparativo ubicado en las bandejas del secador .....	96
Tabla 3-9: Parámetros de la prueba de validación.....	96
Tabla 3-10: Promedio por hora de humedad y temperatura en la prueba final.....	98
Tabla 3-11: Duración de encendido y apagado de la resistencia 1 durante cada hora de funcionamiento. Estimación de potencia consumida por las resistencias en cada hora de funcionamiento. ....	103
Tabla 3-12: Duración de encendido y apagado de la resistencia 1 durante cada hora de funcionamiento. Estimación de potencia consumida por las resistencias en cada hora de funcionamiento. ....	105
Tabla 3-13: Tabla de costos de los elementos del sistema.....	107
Tabla 3-14: Tabla de costos por servicio de ingeniería.....	107

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El cacao consiste en uno de los productos estrella de exportación en el Ecuador. Este grano ha permitido al país convertirse en el exportador por excelencia dentro del continente americano y a su vez lo ha posicionado en el cuarto puesto en todo el mundo con respecto a todo tipo de productos relacionados con el cacao.

De acuerdo con la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – ANECACAO, la producción del cacao en zonas agrícolas está distribuida entre pequeños, medianos y grandes productores. Las granjas de los pequeños productores generan el 70% del cacao a nivel nacional, el 20 % de la producción recae en los medianos productores y el 10 % restantes en grandes productores. Ecuador representa el 7% de la producción mundial de cacao y los mayores cultivos de cacao se encuentran en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos. Principalmente en Guayas, en el año 2019, aproximadamente el 60% del total de las ventas de la provincia estuvieron representadas por el comercio de cacao[1], [2].

Las cifras expuestas permiten apreciar el potencial de producción de cacao en el Ecuador, sin embargo, se debe tomar en cuenta que varios de los pequeños productores, que representan el grupo más numeroso de proveedores de cacao, no utilizan implementos tecnológicos que permitan la automatización en procesos como el secado de cacao. Convencionalmente, el secado de cacao se realiza a la intemperie con lo que el proceso puede tener una duración de 14 a 20 horas de sol, dependiendo de las condiciones climáticas. El secado de cacao es importante ya que permite definir características como el aroma y sabor del mismo. De allí que resulte necesario que los pequeños productores implementen en sus procesos soluciones tecnológicas que les permitan disminuir las horas de secado para aumentar la producción del cacao sin comprometer la calidad del mismo.

En el presente proyecto se propone automatizar un prototipo secador de cacao con energía solar en la comunidad de Bucay, perteneciente a la provincia del Guayas. Actualmente los investigadores del proyecto INEDITA han construido la estructura mecánica de un secador que puede ser alimentado con la energía de la red eléctrica y energía solar, sin embargo, se requiere implementar un sistema de control que emplee instrumentación, con la finalidad de ahorrar energía y realizar un proceso de secado eficiente y automático.

## **1.1 Descripción del problema**

El proceso de secado convencional del cacao, realizado por pequeños productores, presenta diversos retos como lo son el tiempo de secado y la exposición del producto ante factores naturales como lluvia y polvo. Dichos factores son comunes en la comunidad de Bucay y retardan tanto el proceso de secado como la producción de cacao.

La exposición prolongada del cacao a la radiación solar altera las características organolépticas del producto, tales como: aroma, amargor, color y astringencia, estas propiedades influyen directamente en la calidad del producto.

El grupo de investigadores del proyecto INEDITA ha desarrollado la estructura mecánica de un secador híbrido bajo techo para mejorar la calidad del grano, sin embargo, en la actualidad el problema radica en que el funcionamiento del prototipo se ve limitado por el accionamiento manual de instrumentos como: ventiladores, resistencias y extractores que permiten controlar la temperatura y humedad en la cámara de secado.

El secado natural del producto contribuye a elevar las características del grano, sin embargo, presenta una duración aproximada de 14 a 20 horas de sol dependiendo la temperatura y condiciones climáticas. En otras palabras, de acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP el secado del cacao, utilizando métodos convencionales, puede tener una duración de hasta 12 días.

El secado artificial es una solución adecuada para situaciones en las que las condiciones climáticas no facilitan la deshidratación del grano, además, el secado natural requiere que los agricultores inviertan una gran cantidad de tiempo y esfuerzo físico para lograr el secado homogéneo de los granos, lo que resulta en jornadas de trabajo agotadoras.

El prototipo consiste en un secador de bandejas que permite implementar el secado artificial de cacao en la comunidad de Bucay. Para facilitar las labores de los agricultores, se requiere realizar el control automático de los diferentes actuadores del sistema que garanticen el secado del producto a una temperatura específica y requiera la atención de los operadores únicamente cuando el secado haya concluido o al existir un posible fallo en el proceso.

## **1.2 Justificación del problema**

El presente proyecto permitirá realizar el control automático del proceso de secado de cacao utilizando instrumentación y equipos comerciales que garanticen la eficiencia del proceso, así como la reducción de costos energéticos. Esto se logrará gracias al uso de sistemas de energía híbrida, es decir, el prototipo es alimentado por la red eléctrica convencional y por energía proveniente de paneles fotovoltaicos.

La propuesta de automatización del prototipo secador de cacao brinda a la comunidad de Bucay una alternativa que libera a los usuarios de la ejecución manual de los actuadores del sistema y de la constante supervisión del mismo, con lo que los agricultores podrán destinar la mayor parte del tiempo a la cosecha o almacenamiento del grano.

La solución planteada de automatizar el proceso de secado facilita obtener un proceso repetitivo, lo que significa que cada lote de producto mantendrá características similares, esto permite aprovechar la mayor cantidad de producto y evitar las pérdidas por una deshidratación incorrecta y no homogénea, lo cual sucede con el proceso de secado manual.

Además, implementar una solución tecnológica utilizando instrumentos como PLC y HMI garantiza la robustez del proceso y facilita el monitoreo y control de dicho proceso. Lo que implica, una mejora en el proceso de secado de cacao lo mismo que se traduce a un producto con mejor sabor, color y aroma contribuyendo a que el cacao producido por los pequeños productores cumpla con los estándares de calidad nacionales y se gane competitividad en el mercado. Por lo antes expuesto se puede evidenciar que la solución planteada contribuirá al desarrollo de la comunidad de Bucay, mejorando la calidad de vida de los agricultores.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de control para el secador de cacao con energía solar mediante equipamiento e instrumentación industrial, en la comunidad de Bucay, para la reducción del consumo energético garantizando un proceso eficiente.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Realizar un estudio del sistema de control de los secadores de granos para su posterior diseño.
2. Seleccionar la instrumentación y equipamiento adecuado para la obtención de un diseño eficiente y económico.
3. Implementar el sistema de control de temperatura y humedad mediante un PLC Logo para el buen funcionamiento del proceso de secado de los granos de cacao.
4. Implementar un HMI como panel de mando y monitoreo para la supervisión de los valores de temperatura y humedad dentro de la cámara de secado.
5. Analizar la fiabilidad de los componentes para la obtención de un repuesto óptimo y disponible en el mercado.
6. Realizar pruebas de funcionamiento en el prototipo que validen el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

### **1.4 Marco teórico**

#### **1.4.1 Secado de cacao:**

El secado de cacao se define como la técnica agrónoma, en la cual, el grano es expuesto al calor, ya sea por medios naturales o artificiales, esto se realiza con la finalidad de reducir la humedad de los granos, hasta un nivel que impida la germinación de las semillas y el crecimiento de hongos, lo cual reduce la calidad del cacao.

La producción de cacao en Ecuador se concentra principalmente en las provincias de Guayas, Manabí y Sucumbíos. En Ecuador se cultivan dos tipos de cacaos: el Cacao CCN 51 y el llamado Cacao Nacional, los dos tipos de cacaos presentan una humedad promedio cercana al 6%. [3]

El cacao es un tipo de grano cuya humedad debe ser reducida a un valor inferior de 7%, para evitar la contaminación por moho, el cual produce micotoxinas patógenas nocivas para la salud humana. [4]

Cuando la humedad se encuentra por debajo del 6%, los granos se encuentran demasiado secos, lo que conlleva a que las semillas se quiebren aplicando una presión mínima. El principal daño por la deshidratación descontrolada en el grano se da en la cascarilla o testa (cubierta que protege los cotiledones) del mismo, cuando esto ocurre, el grano queda totalmente desprotegido y vulnerable ante ataques de insectos o contaminación por hongos. Como

problema adicional, un grano quebradizo dificulta la comercialización del mismo.[4]

Además de la humedad del cacao, el tiempo juega un factor importante en cuanto a eliminar la acidez volátil del grano. Si el grano es sometido a elevadas temperaturas con la finalidad de ser secado con rapidez, se pierde la uniformidad de secado y la cascarilla del cacao se endurece, esto impide la salida de ácido acético o vinagre que se concentra dentro de los granos de cacao durante el proceso de fermentación, proceso previo al secado de cacao. [4]

#### **1.4.2 Tipos de Secado de Cacao:**

##### **1.4.2.1 Secado Natural de Cacao:**

El secado natural del cacao es un método tradicional empleado por la mayor parte de agricultores ecuatorianos y conlleva todo un proceso de carácter manual. El proceso consiste en extender los granos de cacao sobre tendales y someter el grano a la radiación solar. Durante el primer día los granos son extendidos formando una capa de aproximadamente 5 cm de espesor. Los agricultores utilizan rastrillos de madera para mover los granos en periodos de 1 a 2 horas, con la finalidad de lograr un secado uniforme. En esta primera etapa los granos de cacao pueden recibir de 3 a 4 horas de sol. [5]

Para el segundo día se requiere que el espesor de la capa de cacao disminuya y que se aumente la exposición del grano a la radiación solar en un aproximado de 5 a 6 horas. A partir del tercer día el grano puede recibir todas las horas del sol necesarias y se continúa disminuyendo el grosor de la capa de granos de manera progresiva.

El secado natural del cacao se puede realizar sobre tendales de cemento, de caña o madera y en secadores tipo marquesina.

- **Tendales de cemento:** Consiste en plataformas construidas a base de bloques y varillas para posteriormente ser recubiertas con cemento. El problema en los tendales de cemento es que no permiten la correcta circulación de aire sobre el grano, además, el cacao puede ser contaminado con polvo y requiere ser protegido externamente en días de lluvia. Sin embargo, este método es elegido por las pequeñas industrias, debido a su bajo costo.[4]

- **Tendales de caña o madera:** El secado utilizando tendales de caña o madera es el más recomendado por agricultores, debido a que las propiedades de la caña o madera permiten guardar y mejorar el aroma característico del cacao. En este tipo de técnica el secado del cacao es muy lento, pues gran parte de la humedad se conserva gracias a la caña o madera, sin embargo, los riesgos de contaminación son menores.[5]
- **Secador tipo Marquesina:** El secador tipo marquesina consiste en una construcción de una plataforma ya sea de madera o cemento, la cual, se encuentra recubierta por un plástico montado sobre una estructura montada. El secador tipo marquesina se asemeja a un invernadero cuyo objetivo principal es crear las condiciones ambientales que permitan el secado adecuado del grano, en lugares donde se frecuentan las lluvias. En estos secadores es importante tomar en cuenta la circulación de aire, por lo que deben ser construidos considerando la dirección del viento en la zona. [5]

Por lo general, el tiempo de secado del grano en tendales de cemento, madera o caña es de 6 a 8 días y en secadores tipo marquesinas es de 10 a 12 días.[5]

#### **1.4.2.2 Secado Artificial de Cacao:**

El secado artificial de cacao consiste en un proceso en donde el calor que permite realizar la deshidratación del grano es transmitido por convección o conducción y se produce por el uso de combustibles o por medio de equipos eléctricos como resistencias. Los secadores artificiales poseen cámaras de secado en donde la circulación de aire puede ser controlada de forma natural o forzada, mediante ventiladores.

El uso del secado artificial es primordial durante las épocas lluviosas, sin embargo, se deben tomar en cuenta medidas de prevención que eviten la contaminación de los granos con el humo generado por los combustibles, es por ello, que una mejor alternativa es el uso de componentes eléctricos. En el secado artificial es necesario que el cacao sea expuesto a un secado natural por un día, posteriormente, al ingresar el grano en el secador artificial se requiere que la temperatura de la cámara de secado sea menor a la temperatura de los granos.

### 1.4.3 Automatización en Secadores de Cacao

#### 1.4.3.1 Secador de bandejas

Los secadores de bandejas consisten en una cámara de secado en la cual se pueden insertar diversas plataformas o bandejas que contienen el grano a secar. Dentro de estos secadores se realiza la circulación de aire por medio de ventiladores y extractores, el objetivo es que el aire calentado sea impulsado de forma paralela a las superficies de las bandejas.

El calor en el interior del secador de bandejas puede ser generado de forma natural, utilizando únicamente las condiciones climáticas de la región o también, se pueden utilizar equipos eléctricos que produzcan calor, en especial cuando se obtiene un calentamiento bajo. [3]



**Figura 1-1: Secador de Bandeja [6]**

En este tipo de secadores, las bandejas pueden tener entre 10 a 100 mm de profundidad y al colocar productos granulares se recomienda que el piso de la bandeja sea cubierto por un tamiz. Una ventaja de este tipo de secador es que las bandejas pueden ser colocadas sobre una estructura móvil, lo que permite que los recipientes puedan ser cargados y descargados fuera de la cámara de secado. Como consecuencia en los diseños de secadores de bandejas, el tiempo de secado disminuye puesto que el aire transmite el calor a cada una de las áreas superficiales de las bandejas.[6][7]

#### 1.4.3.2 Secador Continúo de Túnel

El secador continuo de túnel es uno de los más utilizados en la industria alimenticia, los granos son transportados en bandejas, carretillas o en

transportadores perforados o de fondo de tamiz. Dentro del túnel se encuentran varias secciones en las que se dispone de ventiladores y de resistencias o serpentines de calentamiento, además el túnel no es completamente cerrado, contiene aberturas por las que el aire puede entrar y salir. Los ventiladores permiten la circulación del aire en dirección de arriba hacia abajo o viceversa. Los granos deben ser extendidos sobre el medio de transporte y formar una capa con un espesor de entre 25 a 150 mm. [6][7]

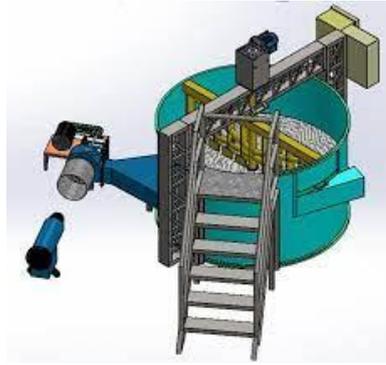


**Figura 1-2: Secador de Túnel [6]**

Como se mencionó anteriormente, en el secador de túnel, el aire puede circular de forma perpendicular a la dirección de transporte de los granos, pero también, el aire puede circular de forma paralela en contra de la dirección de transporte, sin embargo, este tipo de calentamiento no es recomendable en granos de cacao ya que produce un endurecimiento de la cascarilla del grano, lo que genera un producto quebradizo.

#### **1.4.3.3 Secador Rotatorio**

Los secadores rotatorios constituyen construcciones mecánicas en forma de cilindro hueco. El cilindro se encuentra apoyado sobre cojines y gira sobre su propio eje ubicado en el plano horizontal, con una pequeña inclinación. Por lo general, los secadores rotativos tienen un diámetro que se encuentra entre 0.3 a 3 metros y la extensión del cilindro puede ser 4 o 10 veces el valor del diámetro. [6][7]



**Figura 1-3: Secador Rotatorio [7]**

La inclinación en el cilindro permite que los granos se deslicen hacia el extremo de salida del cilindro. Los dos extremos del cilindro están adecuados para recibir la inyección de gases calientes, dichos gases pueden incrementar el movimiento de los granos en caso de que el gas circule en dirección paralela con el desplazamiento de los granos o pueden reducir el movimiento en caso de que los gases circulen en la dirección contraria al desplazamiento de las semillas.[6][7]

#### **1.4.4 Características del cacao que dependen del secado artificial o natural**

##### **1.4.4.1 Aroma**

El aroma del cacao se define en el secado del mismo, esta propiedad organoléptica se basa en la creación de sustancias volátiles producidas en el interior ya sea de forma natural o durante el proceso de secado.[4]

El principal factor que puede alterar el aroma del cacao es el tiempo de secado, un secado rápido desata reacciones químicas violentas en el interior del grano, lo cual elimina varias de las sustancias volátiles que participan en la generación de un buen aroma en el cacao.

##### **1.4.4.2 Amargo**

El amargo del cacao es una característica organoléptica propia del grano. El amargor es un sabor fuerte detectado por la parte posterior de la lengua y resulta desagradable para el ser humano.[4]

Durante el secado se producen reacciones químicas en el interior de la semilla, estos sucesos generan polímeros de alto peso molecular encargados de potenciar el aroma del cacao y de regular el sabor amargo del producto.[2]

### 1.4.4.3 Astringencia

La astringencia es el término utilizado para definir la sensación de alimentos que, al contacto con la lengua, producen una sensación de sequedad y amargor intensos. En frutos como el cacao la astringencia está presente debido al elevado contenido de polifenoles. En los granos de cacao los polifenoles son biomoléculas responsables de la pigmentación color rojo o violeta, así como del sabor amargo y astringente que acompaña al fruto.[2]

Un grano de cacao que no ha pasado por el proceso de fermentación o no ha culminado su proceso de secado, presenta un color violeta, por lo que, fácilmente se puede inferir que en el fruto existe un elevado grado de amargor y astringencia.[4]

### 1.4.4.4 Color

El color del cacao es la característica principal que puede ser observada por los compradores de cacao. El color del grano brinda información sobre su fermentación y secado, y permite que el producto tenga una aceptación mayor o menor en el mercado. A continuación, se presentan algunas interpretaciones de los colores característicos de los granos de cacao:

- **Granos de color café o marrón:** El grano se ha fermentado correctamente y guarda características ideales para la elaboración de chocolates gourmet.[1]
- **Granos de tonalidad violeta:** En los granos de cacao un color violeta indica la presencia de ácidos provenientes de la pulpa del grano, esto indica un proceso de secado o fermentado incompletos. El sabor del grano es amargo. [1]
- **Granos de color gris o negro:** Un color gris oscuro indica que el proceso de fermentación no ha tenido ningún efecto sobre el grano, por lo que la acidez prevalece en el mismo. En la etapa de secado el color negro o las tonalidades grises indica una semilla completamente deshidratada y quebradiza. [1]

### 1.4.5 Sensores o elementos de Medición:

Muchas variables físicas a medir no son eléctricas como por ejemplo la temperatura, presión, el nivel de un líquido o sólido, fuerza, posición, velocidad, desplazamiento de un objeto, etc. Por ello, es necesario el uso de una

interfaz de conexión entre el sistema electrónico y el proceso productivo a través de dispositivos que conviertan las variables no eléctricas en eléctricas, a estos dispositivos se los denomina sensores. [8]

El sensor es un dispositivo analítico capaz de poder responder en tiempo real y continuo de modo reversible a los diferentes cambios producidos en una variable o parámetros físicos en alguna sustancia química.[9]

Los sensores constan de 3 partes: Terminal sensible, Transductor y un sistema electrónico. Además, tenemos muchos tipos de sensores, pero para la presente investigación profundizaremos los sensores de temperatura, humedad, voltaje y corriente.

Entre los factores a tener en cuenta al momento de seleccionar un sensor se tiene:

- Precisión.
- Calibración.
- Tamaño.
- Costo y costo de reemplazo.
- Repetibilidad de salida.
- Fiabilidad.

#### **1.4.5.1 Sensores de Temperatura:**

Los sensores de temperatura son utilizados para poder medir el calor de forma que se asegure que el proceso se localice en un buen rango, proporcionando seguridad en el uso de la aplicación, o de forma que cumpla con alguna condición necesaria cuando se tiene calor extremo, riesgos o puntos de medición inaccesibles [10].

Los sensores de temperatura se encuentran clasificados en sensores de temperatura que varían su resistencia y los que funcionan de forma directa en función de una señal emitida. [11]

##### **• Sensores de Temperatura con variación de Resistencia**

Mejor conocido como termistor del inglés Thermally Sensitive Resistor. Se dividen en termistores PTC y NTC.

Los termistores PTC indican un aumento de temperatura ante un aumento de resistencia, mientras que los termistores NTC señalan un aumento de temperatura ante una disminución de resistencia.[11]

Los sensores de temperatura permiten monitorear la temperatura de los granos.

#### **1.4.5.2 Sensores de Humedad**

Los sensores de humedad son dispositivos empleados en diferentes aplicaciones de tipo industriales, biomédicas, ambientales en las cuales sea requerido un control y medición de la humedad. [12]

Dichos sensores se encuentran fabricados a partir de circuitos integrados que generan una señal acondicionada, las mismas que se encuentran compuestas por un elemento de tipo sensible capacitivo que interactúa con electrodos de platino.[13]

Entre su clasificación más conocida tenemos:

- **Sensor de Humedad Capacitivo:** En este tipo de sensores capacitivos de humedad relativa, la permitividad eléctrica en el material dieléctrico se modifica con el cambio de humedad.[12]
- **Sensor de Humedad Resistivo:** estos sensores de humedad miden la impedancia o la conductividad eléctrica bajo el principio y consigna que la conductividad en los conductores no metálicos se ajusta conforme la cantidad de agua que contengan. [12]
- **Sensor de Humedad de Conductividad Térmica:** También llamados como sensores de humedad absoluta, son los encargados de medir la conductividad térmica tanto en aire seco como en el aire que genere vapor de agua. [12]

#### **1.4.5.3 Sensores de Voltaje**

Un sensor de voltaje es un dispositivo utilizado para calcular y poder controlar la cantidad de voltaje en un elemento eléctrico. Los sensores de voltaje logran determinar tanto el nivel de voltaje de corriente alterna como el de corriente continua. La entrada de este sensor puede ser el voltaje mientras que la salida son los diferentes interruptores, la señal de voltaje analógico, una señal de corriente, una señal audible, etc.[14]

#### **1.4.5.4 Sensores de Corriente**

Los sensores de corriente son elementos diseñados para poder efectuar la medición del flujo de corriente en un contorno eléctrico. Son denominados transformadores para detección de corriente, se

encuentran los de tipo: para medir flujos corriente CA y CC, efecto Hall, bobinas de Rogowski y, además, transformadores. [15]

Los sensores de corriente son usados en circuitos de lazo abierto o cerrado. Los sensores de lazo abierto son los que emplean la tensión de detección para poder conseguir de forma directa la medición del flujo de corriente. Es decir, esto puede provocar la obtención de inexactitudes ocasionadas por la no linealidad en el sensor, efectos de saturación y, además, deriva térmica. [16]

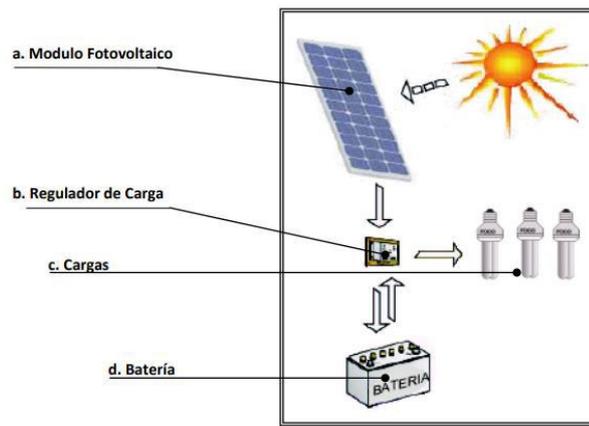
#### **1.4.6 Control On/Off para la variable temperatura:**

Se trata de un controlador denominado ON/OFF, el cual utiliza un algoritmo para poder verificar si la variable de proceso se encuentra por encima o por debajo de un valor establecido por el usuario. Es decir, en términos prácticos, se tiene que la señal de control del controlador variará entre un “Encendido total” o un “apagado total” de modo que no existan estados intermedios.[17]

#### **1.4.7 Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico, el cual se encuentra basado en el principio que al incidir la radiación solar en las diferentes celdas fotoeléctricas de modo que se crea una diferencia de potencial. [18]

La energía solar fotovoltaica no contribuye ni afecta al calentamiento global debido a que no expresa sustancias tóxicas ni mucho menos contaminantes hacia el aire, de forma que contribuye a un desarrollo sostenible y sustentable. [18]



**Figura 1-4: Proceso Fotovoltaico [19]**

La figura 1-4 muestra el proceso a partir de convertir la radiación solar en electricidad que es proporcionada por el módulo fotovoltaico. La energía eléctrica producida se almacena en baterías, por lo que se puede utilizar en cualquier momento y no cuando la radiación solar está disponible. Este almacenamiento de energía debe dimensionarse para que continúe funcionando incluso durante largos períodos de mal tiempo cuando la radiación solar es baja. El regulador de carga es el componente responsable del correcto funcionamiento del sistema al evitar la sobrecarga y descarga de la batería, proporcionando alarmas en caso de falla del sistema. Esto asegura un uso eficiente y prolonga su vida útil. [19]

#### **1.4.8 Controlador Lógico Programable:**

En el ámbito del desarrollo de los diferentes tipos de tecnologías (eléctrica, mecánica, química) a lo largo del siglo XX encontramos una elevación de la complejidad de los diferentes sistemas, generando que muchas variables físicas sean controladas y vigiladas. Pero el control de dichas variables no lo puede realizar el ser humano de forma directa debido a la carencia de capacidad de acción mediante sus manos, de sensibilidad y rapidez de respuesta a los diferentes estímulos que reciben sus sentidos. [20]

Por ello, se generó el desarrollo de equipos capaces de poder procesar y memorizar diferentes tipos de variables físicas generando un correcto tratamiento de la información.

El Controlador Lógico Programable o PLC es un dispositivo capaz de ejecutar un programa de forma adecuada para poder solucionar un problema generado, de tipo robusto y diseñado para entornos difíciles y duros. [21]

Un PLC comúnmente es empleado en procesos industriales que requieran una o varias de las siguientes necesidades:

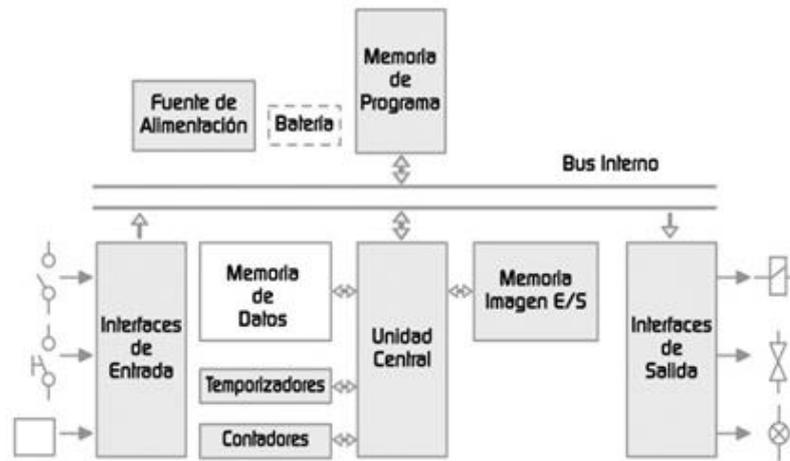
- Espacio reducido.
- Procesos de producción variables.
- Procesos de producción secuenciales.
- Instalaciones de procesos complejos.
- Necesidades de chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

El controlador Lógico Programable consta de 2 partes principales:

1. **Hardware:** Parte física, tangible del dispositivo, donde se localizan los diferentes bloques que permiten el correcto funcionamiento del controlador o PLC, como, por ejemplo, la batería, los diferentes módulos de memoria, los módulos de entradas y salidas analógicas y/o digitales.
2. **Software:** es la parte no tangible, es decir, son los diferentes programas cargados en los bloques de memoria y las instrucciones que encontramos en la memoria ROM del sistema.

#### **Estructura Interna del PLC:**

Se encuentra compuesta de diferentes dispositivos electrónicos que admiten mantener y ejecutar las instrucciones básicas del funcionamiento del PLC, además de poder alojar las unidades para ejecutar todas las instrucciones de un programa precargado y realizar las tareas especificadas en él.[22]



**Figura 1-5: Estructura interna de un PLC [22]**

**Partes de la estructura interna:**

- Memoria de programa.
- Memoria de Datos y Memoria Imagen E/S.
- Interfaz de Entrada y Salida.
- Fuente de Alimentación.
- Buses de Comunicación.
- Contadores.
- Temporizadores.
- Buses de Campo.
- Conversores Analógico-Digitales.

El PLC contiene unidades aritméticas, lógicas, memorias y procesador parecido a una computadora, pero la diferencia la tenemos en que el PLC, es un dispositivo diseñado para entornos industriales en diferentes tareas específicas.[22]

**1.4.9 HMI (Interfaz de Usuario)**

Las interfaces humano máquina o human-machine interface (HMI) se refieren a un panel que permite a un usuario poder comunicarse con una máquina, software o sistema. En la actualidad son utilizadas para representar de forma “idéntica” la realidad de los diferentes procesos industriales, lo que permite a los operadores una interrelación de los equipos físicos de la planta con los equipos virtuales de las diferentes interfaces gráficas de usuarios. [23]

Las HMI permiten incluir eventos para poder realizar diferentes acciones de control y protección de los diferentes equipos del sistema, y de la misma forma permite “leer” información de las variables de los Programadores lógicos programables (PLC) (mediante acceso a las memorias obteniendo directamente el estado de las variables de proceso). [24]

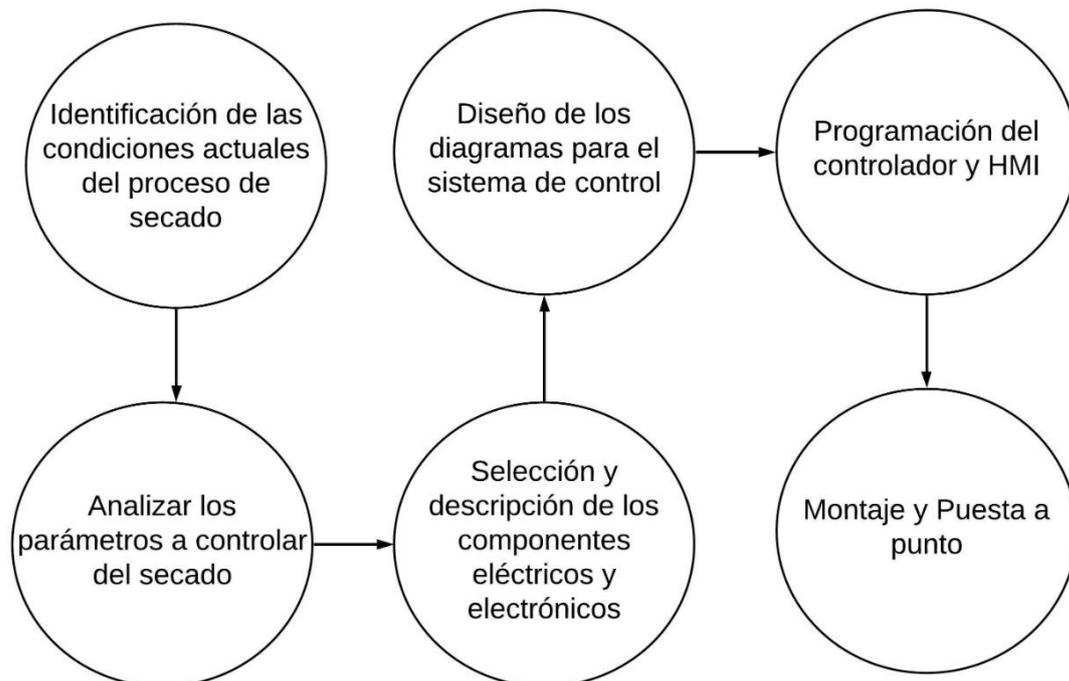
Se puede usar el estado de dichas variables para indicar, a través de cambios de colores en los equipos virtuales, la condición que guardan en el proceso real y así poder facilitar al operador del sistema una mejor toma de decisiones. [24]

# CAPÍTULO 2

En este capítulo se describe de manera clara todo el proceso elaborado para la automatización del secador de granos, tomando en consideración que el secado es la fase final del beneficio de los granos, por ello, se debe mantener los estándares de calidad de producto durante el proceso de secado.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología para el cumplimiento y desarrollo final de los objetivos de este proyecto se encuentran basados en una serie de etapas que incluirán de principio a fin todas las actividades que se realizaron para cumplir con todos los requerimientos solicitados por la empresa.

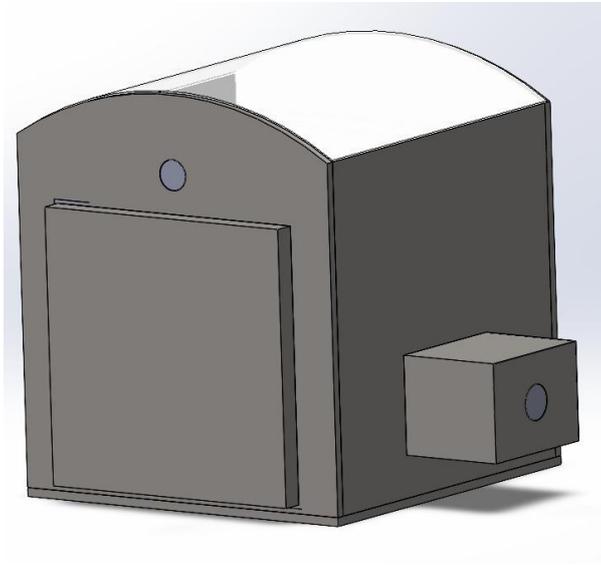


**Figura 2-1: Diseño de metodología.**

En esta sección se dividirá nuestro proyecto en varias etapas hasta llegar a la etapa final correspondiente al montaje y puesta a punto del sistema de secador de granos de cacao.

## 2.1 Análisis del sistema secador de granos

La primera fase consiste en la identificación a través de material bibliográfico de secado actual de los granos de cacao y de los diferentes elementos existentes que realizan, es decir, se analiza en detalle el proceso con toda su estructura mecánica.



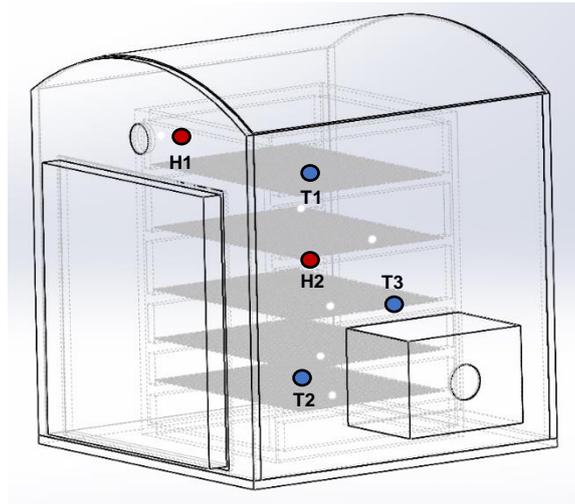
**Figura 2-2: Estructura mecánica del secador de granos de cacao.**

La figura 2-2 muestra el modelo de la estructura mecánica correspondiente al secador de granos de cacao a automatizar. La estructura posee una lámina de policarbonato ubicada en la parte superior de la misma, en forma de domo. Los investigadores utilizan el policarbonato debido a que este material permite el calentamiento de la cámara de secado por medio de radiación. Es decir, los rayos solares son absorbidos principalmente por el material de policarbonato y transmitidos al interior de la cámara de secado en forma de calor, lo que contribuye a incrementar la temperatura al interior de prototipo.

En la parte frontal del prototipo se ubica una abertura de 85 [mm] de diámetro. Esta sección es utilizada para la salida de aire dentro de la cámara de secado. En esta zona se ubicará un extractor que permita disminuir la temperatura y humedad del proceso de secado, en caso de requerirlo.

En la figura 2-2 se puede apreciar una cabina pequeña en el costado derecho del secado. La cabina tiene las siguientes dimensiones: 30x39x28 [cm] y cuenta con un orificio de 100 [mm] de diámetro, por este orificio ingresa el aire impulsado por el ventilador del sistema. Entre la cabina y la cámara de secado se encuentran las resistencias calefactoras del sistema.

El diseño de la cabina permite que el aire impulsado por el ventilador, y previamente calentado por las resistencias, se dirija hacia la base del secador y se distribuya de forma uniforme hacia la zona superior de la cámara de secado.



**Figura 2-3: Ubicación de sensores de humedad y temperatura dentro de la cámara de secado.**

Las variables que se van a monitorear a lo largo del proceso de secado serán: temperatura y humedad. En la figura 2-3 se puede apreciar la ubicación de los sensores de temperatura y humedad dentro de la cámara de secado. El punto “H1” permitirá conocer la humedad relativa en la salida de aire de la cámara de secado. El punto “H2” mostrará la humedad relativa en la zona del cacao. Por otro lado, los puntos “T1” y “T2” facilitan conocer la temperatura a la que se encuentra el cacao dentro del secador artificial. Finalmente “T3” permite monitorear la temperatura cerca de la zona de la resistencia, para prevenir el sobrecalentamiento de la misma.

El sistema automatizado brindará un modo manual y automático con el que se llevará. El cliente necesita que el sistema se encuentre en operación durante un determinado número de horas continuas, además de poder establecer un rango de temperatura y tiempo de secado.

## **2.2 Selección de la Instrumentación**

El objetivo principal del proyecto es poder monitorear las variables de temperatura y humedad que son ubicadas en la estructura del secador. De forma que se garantice que la temperatura se encuentre en un rango permitido de 55 a 60°C para que el grano no se vea afectado en sus propiedades organolépticas, además que la humedad sea inferior a 7% dentro del grano de cacao y un aproximado de 25 % - 20% de humedad relativa en el ambiente durante el proceso de secado, por ello, se

diseña un sistema automatizado que cumpla con los parámetros establecidos para obtener los granos secos y de buena calidad. Además, se requiere tener el detalle de la potencia consumida durante el proceso de secado. Con lo mencionado, se busca que el proceso garantice que todos los parámetros sean fiables. Por lo que se busca un sistema robusto manteniendo una durabilidad y fiabilidad.

### **2.2.1 Selección del controlador.**

Inicialmente se plantearon 2 alternativas para llevar a cabo el proyecto, las cuales eran utilizar un controlador industrial y la otra opción era trabajar con un sistema embebido.

Entre los aspectos que se tomaron en cuenta para la selección, tenemos: mantener la fiabilidad, durabilidad del prototipo de control y además garantizar un sistema robusto con el que se realice un proceso correcto de secado de los granos de cacao a un costo limitado.

#### **Alternativa 1.**

Como primera alternativa se tomó en cuenta el Controlador Lógico programable (PLC) LOGO de la marca Siemens. Este controlador nos permite que el sistema sea robusto y muy fiable ya que tiene una protección IP de grado 67. Además, posee entradas y salidas de tipo analógicas y digitales, las cuales facilita la configuración y conexión de los diferentes sensores con los que realizará la medición y posterior monitoreo de las diferentes variables del proceso. Además, el costo del PLC LOGO es muy inferior a otros del mismo fabricante más frecuentemente empleados en la gran industria como la serie S7-1200, poseyendo más entradas analógicas en su versión compacta.

#### **Alternativa 2.**

Como segunda alternativa se tiene una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Para el proceso se evalúa cuantos sensores se instalarán, los tipos de entradas y salidas que se usarán y el costo, la fiabilidad. Con este sistema se puede controlar todas las variables de interés, pero no se garantiza la fiabilidad o durabilidad que se requiere, además de no ser robusto debido a sus limitantes de diseño, se tendría que diseñar un panel para garantizar una mayor durabilidad en mediano plazo. Por ello, se descarta esta alternativa pese a brindar un menor consumo de potencia, y ser más económico frente a la otra alternativa.

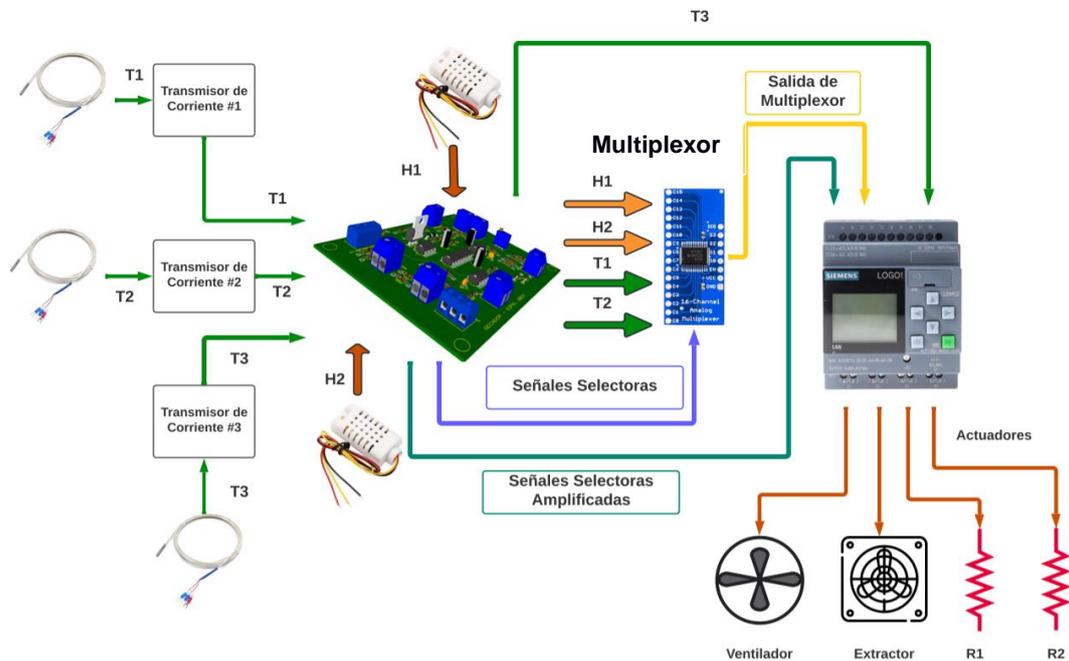
**Tabla 2-1: Tabla comparativa de los controladores**

	<b>PLC LOGO</b>	<b>ARDUINO UNO</b>
<b>Precio</b>	\$185 - \$200	\$19.00 - \$23.00
<b>Dimensiones</b>	2.74 in x 3.54 in x 2.16 in	2.7 in x 2.1 in
<b>Entradas Digitales</b>	8	14
<b>Conectividad</b>	Serial	Estándar A/B USB
<b>Alimentación</b>	12/24 VDC	5 VDC
<b>Entradas Analógicas</b>	4	6

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 2.1 y conforme a los requerimientos del proyecto propuesto, la opción recomendable como controlador del sistema electrónico es el controlador PLC LOGO de la marca SIEMENS, debido a que nos brinda la robustez y fiabilidad requerida y necesaria para llevar a cabo el proceso continuo del secado de los granos, además de la facilidad que brinda con las entradas y salidas, que aunque sean pocas se las expandirá con un multiplexor para poder monitorear todas las variables indicadas para el proceso. El PLC nos brinda poder almacenar los datos obtenidos en las variables mediante el uso de una tarjeta de memoria externa.

En la figura 2.4 se muestra una tentativa de solución para el acondicionamiento de las señales de los sensores que se utilizaría para el sistema del secador de cacao. Se puede observar que se optará por el acondicionamiento de cuatro sensores, dos de humedad y dos de temperatura, utilizando una placa electrónica de diseño propio. La placa electrónica permitirá realizar la conversión de las señales de humedad y temperatura denominadas como T1, T2, H1 y H2 a valores analógicos en rangos de voltajes accesibles para un multiplexor analógico. La señal de salida del multiplexor irá directamente a una de las entradas analógicas del PLC LOGO.

Para que el multiplexor realice la conmutación automática de las señales analógicas de entrada se requiere añadir en la tarjeta electrónica una configuración que permitirá generar las señales selectoras adecuadas para el multiplexor. A su vez estas señales selectoras deberán amplificarse para poder ser interpretadas por el PLC LOGO y servirán para que el controlador pueda diferenciar cada una de las señales analógicas.



**Figura 2-4: Diagrama de señales de sensores al PLC**

## 2.2.2 PLC LOGO

El controlador lógico programado logo V8, es un autómata moderno que cumple la función de poder realizar la automatización aplicada en industrias, además, dispone de características específicas tanto en hardware como en software. Se encuentra compuesto de un número finito de entradas y salidas que brindan una aplicación completa en diferentes procesos en el que se lo requiera.

Cuenta con diferentes módulos de expansión que admiten poder aumentar sus conexiones en el sistema a implementar.

**Tabla 2-2: Características del PLC Logo.**

Controlador	PLC LOGO!
Modelo	12/24 RCE 6ED1052-1MD08- 0BA0
Voltaje de alimentación	12/24 VDC ; Vmin:10.8V Vmax: 28.8V
Entradas	8 digitales (4 analógicas)
Salidas	4 salidas tipo relé de 10 A
Protección IP	Grado 67
Memoria	400 bloques



**Figura 2-5: PLC Logo.**

En la figura 2-5 observamos el modelo del controlador lógico programable(PLC) Logo de la marca Siemens, a continuación se enlistarán algunas de las características más importantes del mismo.

#### **Características:**

- Módulo lógico con pantalla.
- 8 ED (Entradas digitales) de las cuales 4 pueden funcionar como EA (Entradas analógicas) y 4 SD (Salidas digitales).
- Expansión por módulos.
- Ethernet/Servidor WEB.
- Páginas web configurables por el usuario.
- Tarjeta Micros SD estándar.

## 2.3 Selección de sensores

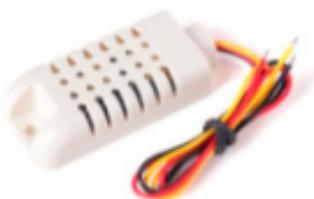
### 2.3.1 Sensor Capacitivo de humedad

Este sensor será el encargado de medir la variable humedad dentro de la estructura y de los granos, se encuentra basado en métodos de calibración muy precisos y de última tecnología de microprocesadores. Este sensor capacitivo de humedad brinda una excelente estabilidad a largo plazo para así conectar la señal de salida a un controlador. Es utilizado en diferentes aplicaciones y equipos, como, por ejemplo, en aires acondicionados, humidificadores, deshumidificadores, monitoreo atmosférico, control de procesos industriales, agricultura, instrumentos de medición, entre otros.

La tabla 2.3 muestra las características más importantes del sensor capacitivo de humedad.

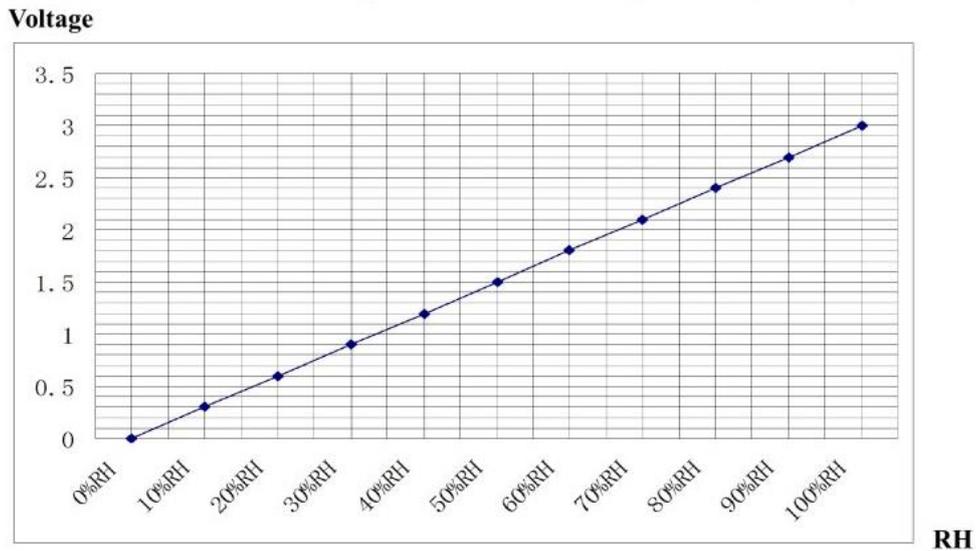
**Tabla 2-3: Características del Sensor de Humedad**

<b>Modelo</b>	AM2001
<b>Alimentación</b>	4.5 – 6 V DC
<b>Señal de Salida</b>	0 – 3 V para humedad
<b>Precisión</b>	Humedad $\pm$ 3% RH
<b>Rango de Trabajo</b>	Humedad 0-100 % RH, Temperatura: 0-80 °C
<b>Resolución o Sensibilidad</b>	Humedad 0.1 % RH
<b>Histéresis de Humedad</b>	$\pm$ 0.3 % RH
<b>Estabilidad a Largo Plazo</b>	$\pm$ 0.5 % RH/Año
<b>Respuesta en el tiempo</b>	< 10 s



**Figura 2-6: Sensor de Humedad**

La figura 2-6 muestra el modelo del sensor de humedad, el cual es un sensor capacitivo que permite obtener la humedad realtiva para el proceso de secado de los granos de cacao.



**Figura 2-7: Curva de salida de voltaje Vs Humedad relativa.**

### 2.3.2 Sensor de temperatura

Para realizar la medición de la temperatura, se escogió el sensor PT100, que son de tipo específico de detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). Una de las características de mayor importancia de los sensores Pt100, es que poseen una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C y es el tipo más común de sensor RTD. Este tipo de sensores de temperatura requieren de un transmisor que sea el encargado de convertir la señal de temperatura a corriente o voltaje, obteniendo de 4 mA a 20 mA o de 0 a 10 V según el transmisor. En el caso de este proyecto se utilizará un transmisor de corriente junto con una resistencia de 250 [Ω] para acondicionar la señal entre 0 y 5 V. Posteriormente esta señal será seleccionada por un multiplexor analógico y leída por el controlador. [25]

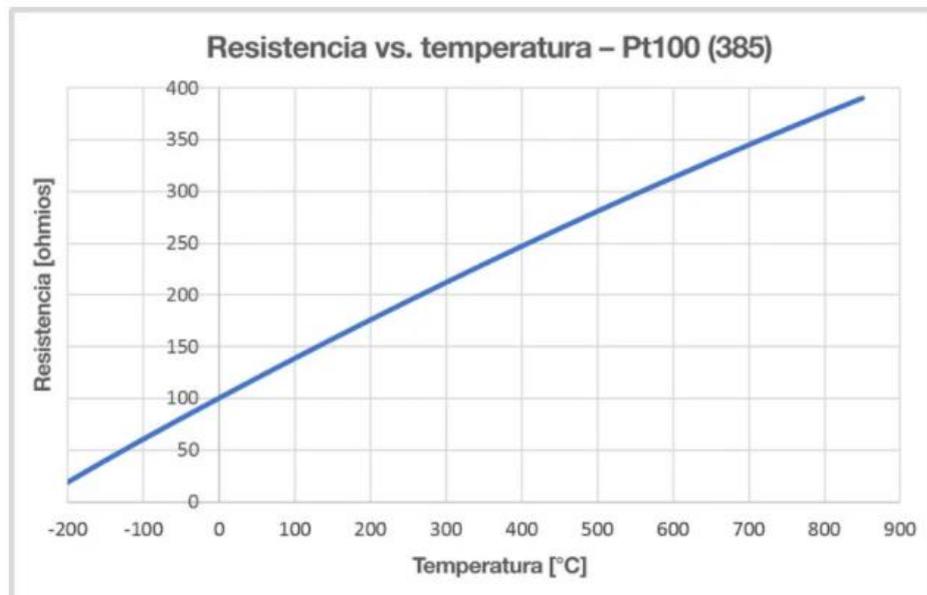
**Tabla 2.7: Características del Sensor de Temperatura.**

Modelo	PT100
Rango de Operación	-50°C a 572°C
Sensibilidad	41uV/°C aprox
Material	Platino
Número de hilos	3
Salida del Transmisor	4 – 20 mA
Sonda Tipo K	Resistente al agua, anticorrosión



**Figura 2-8: Sensor de Temperatura con el transmisor.**

En la figura 2-9 observamos el sensor de Temperatura con su correspondiente transmisor. Es un robusto Transductor de temperatura, con buena sensibilidad y un gran rango de operación, este tipo de sensor es resistente a la oxidación, es económica y tiene una sonda de 100 mm, ideal para ambientes industriales.[25]



**Figura 2-9: Curva de salida del sensor de temperatura**

En la figura 2-10 se presenta la curva de salida del sensor de temperatura, la cual nos da la relación resistencia-temperatura de un sensor Pt100 y podemos observar que no es perfectamente lineal, sino que presenta una pequeña curvatura. Sin embargo, esta característica es tolerable para el presente proyecto ya que se trabaja con rangos de temperaturas inferiores a 70 °C. Además, los sensores de temperatura Pt100 pueden ser ajustarlos dentro de la programación de autómatas programables con la finalidad de poder compensar posibles errores de medición. Es importante conseguir un sensor cuya exactitud se adapte a la aplicación.[26]

Diferentes clases de exactitud (según IEC 60751:2008):

Clase de exactitud	Valor de exactitud (tolerancia)
AA	$\pm(0.1\text{ °C} + 0.17\% \text{ de la temperatura})$
A	$\pm(0.15\text{ °C} + 0.2\%)$
B	$\pm(0.3\text{ °C} + 0.5\%)$
C	$\pm(0.6\text{ °C} + 1\%)$

**Figura 2-10: Clases de exactitud del sensor de temperatura PT-100[26]**

La figura 2-11 muestra los diferentes valores de exactitud con los que se puede obtener una pt100, es decir, el valor de error que presenta en su medición depende directamente de la clase que posea el mismo. Notamos que la Pt100 de tipo C en exactitud es la que puede llegar a presentar un mayor error. La Pt100 escogida corresponde a un sensor de clase A. [26]

### 2.3.3 Sensor de voltaje

El sensor de voltaje correspondiente al modelo ZMPT101B brinda poder obtener la medición del nivel de voltaje alterno, con referencia de 220VAC con una frecuencia de 60Hz para nuestro país. El sensor ZMPT101B permite realizar la medición de nivel de voltaje mediante la reducción de nivel de voltaje AC de entrada a un valor menor, el cual puede ser leído por el microcontrolador.[27]



**Figura 2-11: Sensor de voltaje**

El módulo de la figura 2-12 se encuentra integrado por un transformador que desempeña la función de aislamiento galvánico para poder obtener una mayor seguridad en su uso. El lado primario del transformador es conectado directamente al voltaje alterno que se busca medir, mientras que en el

secundario del transformador tendremos un divisor de tensión y un circuito con amplificador operacional, con el cual se adiciona un desplazamiento (offset) a la salida.[27]

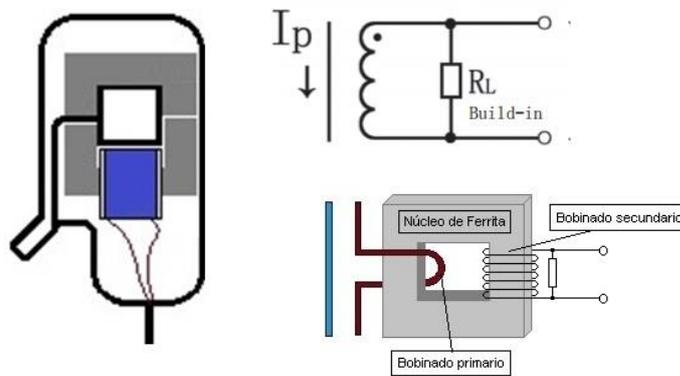
#### **Características:**

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5VDC
- Voltaje alterno de entrada: máximo 250Vrms.
- Voltaje alterno de salida: Onda senoidal de máximo 5Vrms.
- Señal de salida: analógica senoidal
- Dimensiones: 5 cm x 2 cm x 2.4 cm
- Propiedades del transformador:
  - Corriente nominal de entrada y salida: 2mA
  - Ratio entrada-salida 1000:1000
  - Diferencia de fase:  $<30^\circ$  (a 50ohm)
  - Rango lineal: 0-3mA (a 50ohm)
- Linealidad: 1%
- Precisión: 0.2%
- Aislamiento eléctrico entrada: hasta 3000V.

El sensor de voltaje mantiene una salida senoidal con una proporción 50 veces menor a la de la señal de voltaje leída. El PLC LOGO tiene la capacidad de leer el valor continuo o rms de una señal de voltaje. Esto significa que basta con conectar directamente la salida de este sensor a las entradas analógicas del PLC. Dentro de la programación del PLC se debe incluir un valor multiplicativo de 50 que permita obtener el valor real de la señal medida.

#### **2.3.4 Sensor de corriente**

Los sensores de la serie SCT-013 realizan su funcionamiento como transformadores, es decir, la corriente que fluye por el cable que se desea medir, actúa como el devanado primario de 1 espira, y a su vez, internamente posee un devanado secundario con un número de espiras específico para cada modelo de sensor. Dependiendo del modelo del sensor, se puede tener hasta más de 2000 espiras en el secundario para poder realizar la medición. [28]



**Figura 2-12: Diagrama de conexión del sensor de corriente**

El sensor de la figura 2-13, se lo conoce como Sensores CT (Current Transformers). Como se observa en el diagrama de conexión, por el núcleo solo debe de pasar una sola línea, debido a que estamos midiendo corriente. Por ejemplo, si se atraviesan dos cables de una conexión monofásica, la lectura del sensor será 0, debido a que los cables llevarían corrientes opuestas.[28]



**Figura 2-13: Sensor de corriente SCT-013**

Con este sensor podemos medir una corriente hasta de 100A, consiguiendo como salida 50mA para una corriente de 100A, obteniendo la proporción de 100A/50mA.

**Características:**

- Modelo: SCT-013-000V
- Entrada Nominal: 0-100A
- Salida Nominal: 0 a 1V
- Dimensiones (abierto): 36 mm x 57 mm x 21 mm
- Largo del cable: 1 m
- Peso: 73 g
- No linealidad:  $\pm 3 \%$
- Relación de vueltas (N): 2000:1

- Resistencia Dieléctrica: 6000V AC/1min
- Temperatura de trabajo ( $T_A$ ):  $-25^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$
- Grado de resistencia: Grado B
- Material del núcleo: Ferrita

Es recomendable que se utilice el sensor SCT-013 en conjunto con una resistencia menor o igual a  $20\ [\Omega]$  para convertir la señal de corriente a voltaje, guardando una proporción lineal. Este método se utiliza al momento de medir corrientes inferiores a  $60\ [\text{A}]$ . La señal debe ser acondicionada a una señal de voltaje debido a que las entradas analógicas del PLC LOGO leen únicamente valores de voltaje.

## 2.4 Multiplexor Analógico

El módulo 74HC4067 contiene un multiplexor/demultiplexor con conexión analógico/digital de 16 canales, el cual resulta muy útil a la hora de expandir las salidas o entradas de un microcontrolador.

**Tabla 2-4: Características del Multiplexor.**

Modelo	MÓDULO 74HC4067
Voltaje de Operación	2 – 6V
Temperatura de operación	$-55^{\circ}\text{C} - 125^{\circ}\text{C}$
Tecnología	CMOS
Canales	16 analógicos/digitales
Terminales	16 (channel 0 – channel 15)

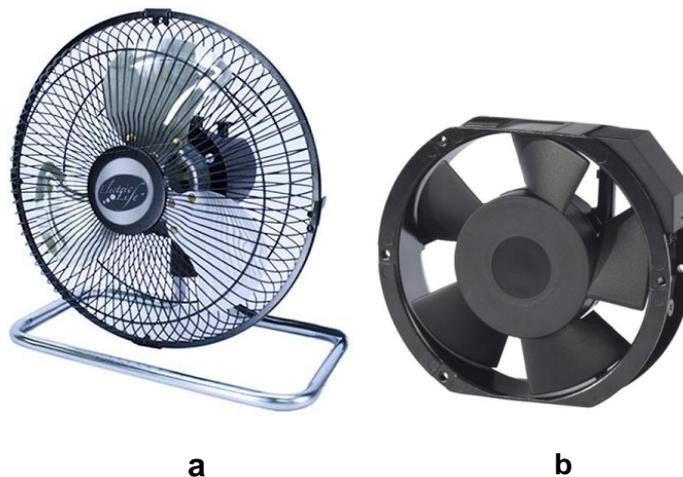


**Figura 2-14: Multiplexor analógico 74HC4067.**

En la figura 2-15 tenemos el multiplexor de modelo correspondiente 74HC4067. Internamente este chip realiza el funcionamiento similar a un interruptor giratorio donde la terminal SIG (signal) es conectada con cualquiera de las 16 terminales C0-C15 (channel0- channel15), la selección del canal al que se conecta la señal de entrada se la realiza enviando el canal en formato binario a los pines de selección S0-S3. El pin EN (enable negado) activa o desactiva dicha conexión.

## 2.5 Actuadores

### 2.5.1 Extractores y Ventiladores



**Figura 2-15: a) Ventilador Electric Life. b) Extractor de aire Shyuan Ya**

El ventilador presente en la figura 2-16a es de la marca Electric Life. El ventilador será colocado en la parte inferior del prototipo, en áreas cercanas a las resistencias. Esto con la finalidad de realizar la distribución de aire caliente dentro de la cámara de secado. El flujo de aire del ventilador es de  $0.87 \text{ m}^3/\text{s}$ , esta característica permite que el aire generado por el ventilador no enfríe la cámara de secado.

#### **Características Técnicas del Ventilador:**

- **Voltaje de alimentación:** 110 [V] - 60 [Hz]
- **Potencia:** 60 [W]
- **Flujo de aire:**  $0.87 \text{ [m}^3/\text{s]}$
- **Número de Hélices:** 3
- **Diámetro de Hélice:** 25 [cm]
- **Diámetro de Rejilla:** 28 [cm]

El extractor de aire de la figura 2-16b pertenece a la marca Shyuan Ya. Este pequeño extractor de dimensiones 151x172x38 mm se ubicará en la rejilla de salida de aire del prototipo. El extractor permite realizar la recirculación de aire desde la cámara de secado hacia el exterior de la misma, este proceso permite que la humedad generada durante el de secado de cacao sea extraída del sistema, además su funcionamiento regula, lentamente, la temperatura del sistema en caso de que esta sobrepase la temperatura de operación.

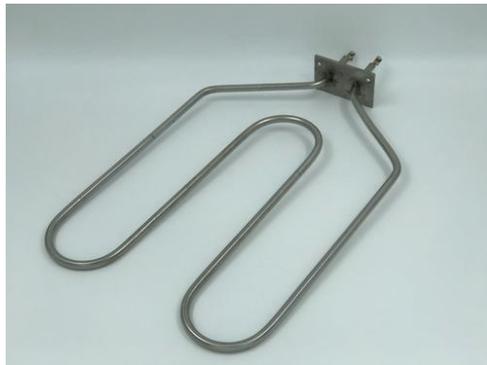
**Características Técnicas del Extractor:**

- **Voltaje de alimentación:** 110 [V] – 60 [Hz]
- **Potencia:** 32 [W]
- **Corriente:** 0.29 [A]
- **Flujo de aire:** 0.12 [m<sup>3</sup>/s]
- **Número de Hélices:** 5

**2.5.2 Resistencia de calentamiento**

Las resistencias de calentamiento es la encargada de convertir energía eléctrica en calor. Esto se da, a través del proceso por el cual se permite el paso de corriente eléctrica mediante un conductor, el cual libera calor a través de la resistencia.

Actualmente, muchas resistencias de calentamiento son usadas en muchas aplicaciones. Muchas de estas son elaboradas con un alambre que posee una aleación de los siguientes elementos: tenemos el Níquel en un 80% y Cromo con un 20%. A partir de esta aleación es posible soportar temperaturas que sean muy altas, por ejemplo, cercano a 1000 °C, dado que se tiene una condición para la generación de calor, y que además es muy resistencia e inoxidable.



**Figura 2-16: Resistencia eléctrica**

La figura 2-17 muestra la resistencia eléctrica utilizada para poder alcanzar la temperatura óptima a la que los granos necesitan estar para que el proceso de secado se lo realice de la mejor manera posible. En cada salida de aire se incorpora una resistencia de 1000 W de potencia. El prototipo cuenta con dos resistencias, cada una construida a partir de materiales de Níquel.

**Características Técnicas de la Resistencia:**

- **Voltaje de Alimentación:** 120 [VAC]
- **Corriente Consumida:** 8.33 [A]
- **Potencia Eléctrica:** 1 [KW]
- **Material de Construcción:** Níquel.

## 2.6 Diseño de los diagramas

### 2.6.1 Diagrama de Flujo

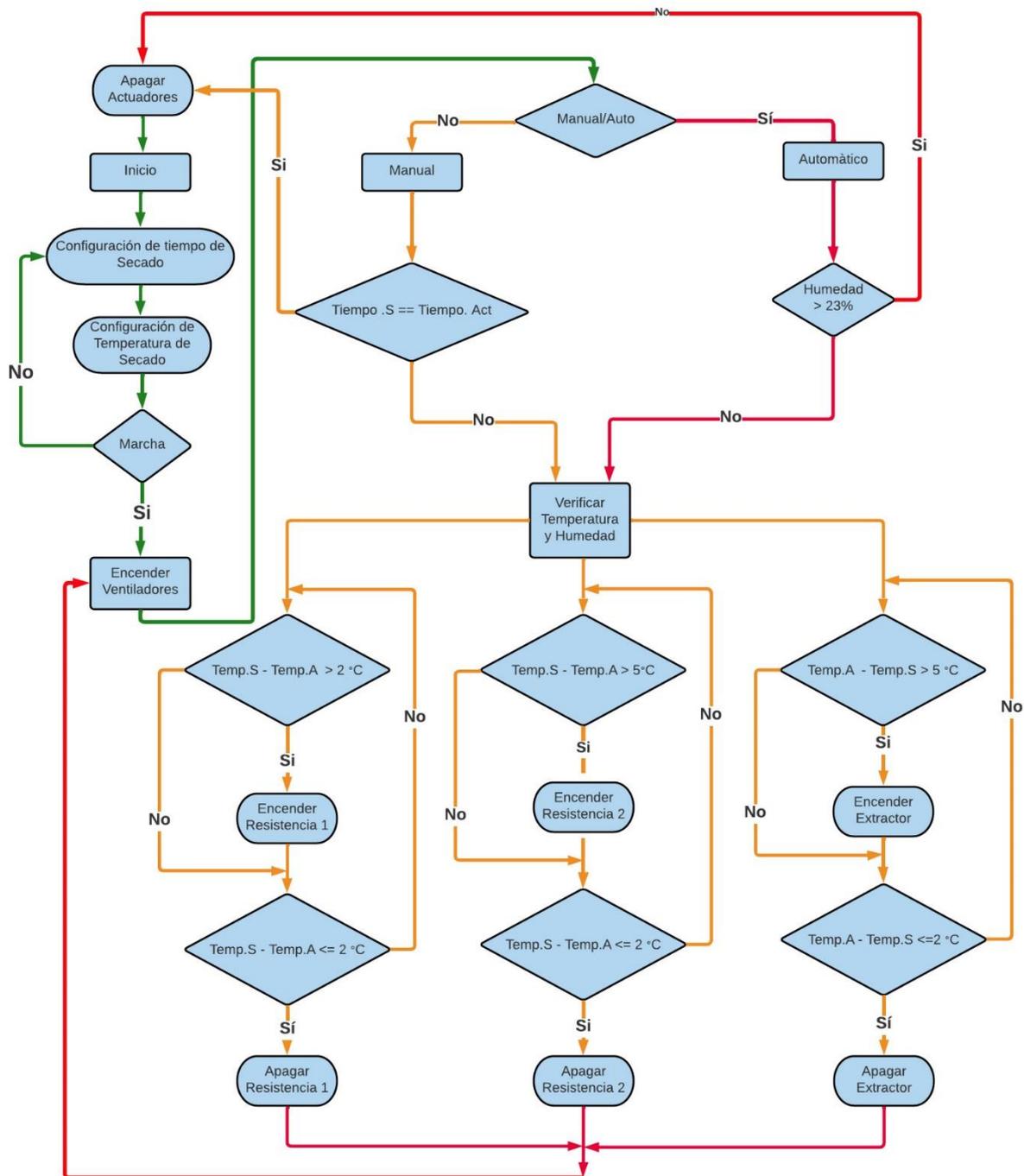


Figura 2-17: Diagrama de flujo de la programación.

El diagrama de flujo muestra el esquema a seguir para realizar la programación del PLC LOGO de la marca Siemens. El estado inicial permite que el usuario programe el tiempo de secado del grano, así como la temperatura de operación del proceso, esta configuración será realizada a través de los botones frontales que incluye el PLC LOGO

y los valores de tiempo y temperatura podrán ser visualizados en la pantalla del controlador.

Una vez que los valores de tiempo de secado y temperatura de secado han sido ingresados, el proceso de control iniciará siempre y cuando el operador active el selector de “Marcha”, lo cual conlleva al encendido automático del ventilador que permiten variar el flujo de aire dentro de la cámara de secado. Si el selector de “Marcha” se encuentra en la posición “Off”, el programa se mantiene en espera.

EL operador decide entre el trabajo Manual o Automático, mediante un selector. En el diagrama de flujo la opción de “Manual” viene dada por la consigna “No” que se obtiene del cuadro de decisión “Manual/Auto”, mientras que la opción de “Auto” está referenciada a la consigna “Si”.

El modo “Manual” permite que el control se ejecute continuamente hasta que se el tiempo de secado configurado por el operador sea igual al tiempo actual. Por otro lado, el modo “Auto” o automático, ejecuta el proceso de secado hasta que la humedad en la cámara de secado sea inferior a 23%.

Una vez que se selecciona el modo de operación se ejecuta el control ON/OFF de temperatura. Durante el proceso se realiza un monitoreo continuo de humedad y temperatura. El secador cuenta con dos resistencias que permiten el calentamiento de la cámara. Cuando la diferencia entre la temperatura configurada y la temperatura ambiente es mayor que 2 °C se enciende la resistencia #1, de manera similar, la resistencia #2 se encenderá cuando la diferencia de temperaturas sea mayor que 5 °C. Las resistencias se apagan de forma simultánea, cuando la diferencia de temperatura es igual o inferior a 2 °C.

En caso de que la temperatura ambiente sea superior en 5 °C a la temperatura de operación, se encenderá el extractor. El apagado del extractor se produce únicamente cuando la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura configurada o de operación, sea inferior a 2 °C.

En resumen, el control del sistema permite que la temperatura dentro de la cámara de secado varíe  $\pm 2$  °C con respecto a la temperatura configurada. A su vez se garantiza el encendido de las dos resistencias únicamente cuando la temperatura dentro del secador sea menor o igual a 10 °C con respecto a la temperatura de operación. Si la variación de temperatura es menor o igual a 2 °C se mantiene encendida únicamente la resistencia 1. Por otro lado, el extractor permite el enfriamiento del sistema hasta que la temperatura de la cámara se encuentre 2 °C por encima de la temperatura de operación.

## 2.6.2 Circuito de Control de Secado de Cacao

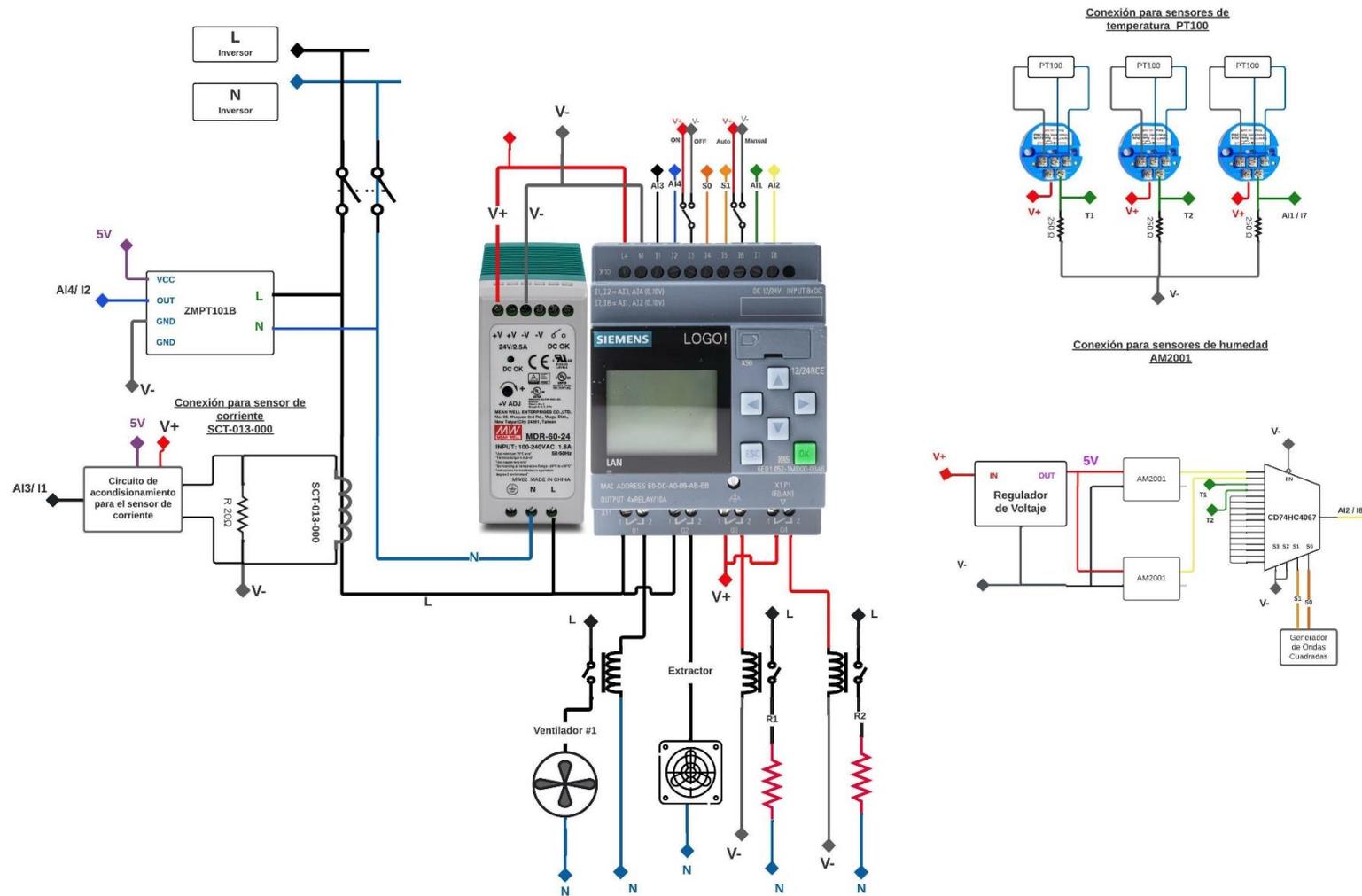
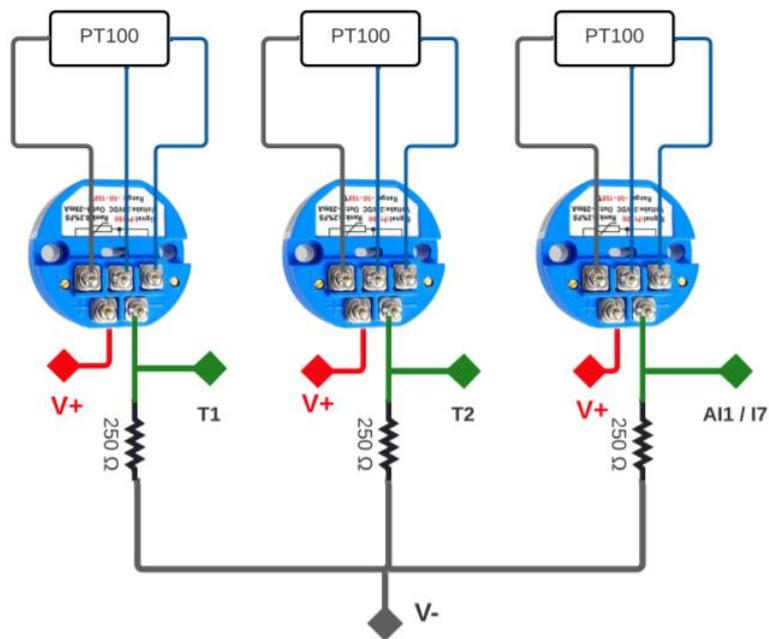


Figura 2-18: Diagrama de control del secado de cacao.

El PLC es alimentado mediante una Fuente DC de 24 V, al controlador le ingresan 3 variables de entrada analógicas obtenidas desde el sensor de temperatura PT100. Además, también ingresarán las variables de humedad del sensor AM2001 acondicionadas en el multiplexor. Mediante el controlador podemos tener registro y manipular las variables ingresadas para poder efectuar el proceso de secado de forma manual y automática. Las salidas del controlador serán el par de resistencias y el Extractor.

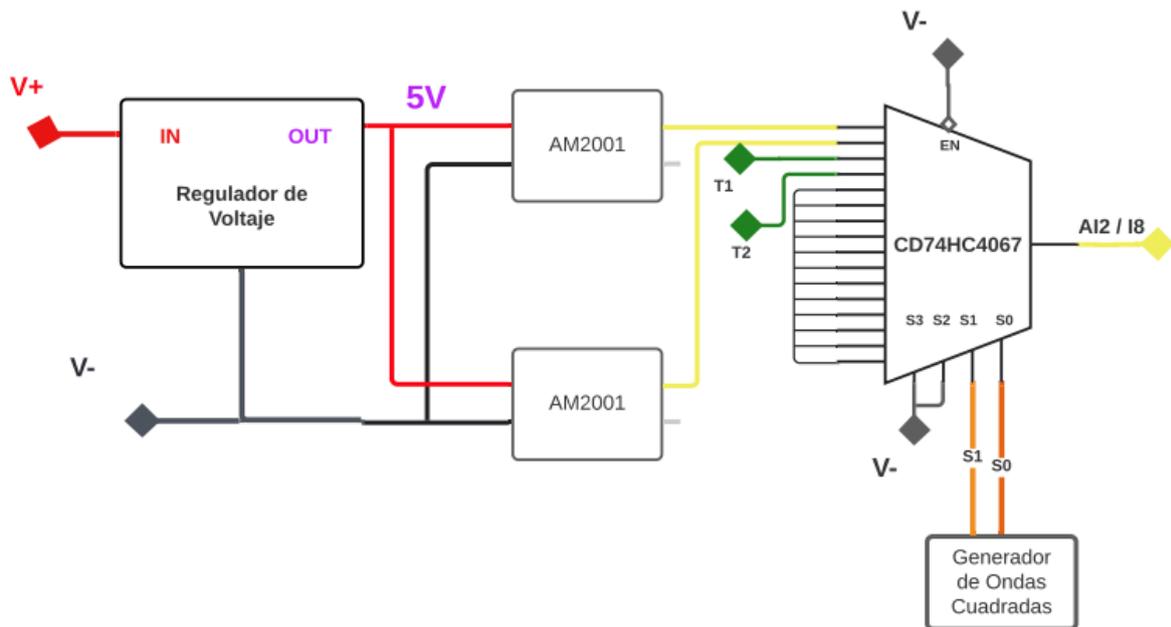
Además, se realiza la medición de la potencia consumida por el sistema a través de un sensor de voltaje con modelo ZMPT101B y el sensor de corriente con modelo SCT-013-00, a partir de un pequeño cálculo realizado en la programación en el PLC se podrá obtener la potencia total y exportar todos los datos monitoreados en una tarjeta de memoria externa. Durante el proceso de secado, el ventilador permanece todo el tiempo encendido, permitiendo un flujo constante de aire dentro de la estructura del secador. Con respecto a las resistencias, se activan conforme la lectura configurada para el proceso, es decir, el PLC monitorea dicha temperatura a través de los sensores y conforme a la programación realizada, se realiza el control ON/OFF de las resistencias de calentamiento para mantener la temperatura deseada en la estructura para el secado de los granos. La activación del extractor se lleva a cabo conforme al valor que sea configurado de humedad, por ello, se realiza el monitoreo de la humedad a través de los sensores respectivos.

### Conexión para sensores de temperatura PT100



**Figura 2-19: Diagrama de conexión para sensores de temperatura PT100**

En la Figura 2-20 presenta el diagrama de conexión para los sensores de temperatura PT100 con la ayuda de un transmisor, el cual nos permite acondicionar la salida del sensor para que se pueda leer en la entrada analógica del PLC Logo. El transmisor nos entrega la señal en el rango de 0 a 10 VDC, por lo que a través de una resistencia de 500 ohms podemos llevarla al rango de 0 a 20mA.



**Figura 2-20: Diagrama de conexión para sensores por medio del multiplexor analógico.**

La conexión presentada en la Figura 2-21, nos indica permite apreciar el uso de el multiplexor analógico CD74HC4067. Este elemento nos ayuda a incorporar varias señales analógicas utilizando una sola entrada analógica del PLC LOGO. Se recurre a este método con la finalidad de omitir la compra de módulos de expansión de salidas propios del PLC LOGO, debido a los elevados costos de los mismos.

La señales selectoras del multiplexor provienen de un generador de onda cuadrada, el cual consiste en un circuito externo que genera señales entre 0 y 5 VDC. Por medio de un divisor de frecuencia se logrará obtener dos señales cuadradas, una de ellas con un período de 4 [s] y otra a la mitad, es decir, con un período de 2 [s], en consecuencia, la conmutación de cada señal analógica se dará cada 1 [s]. Además como se puede visualizar en la figura 2-17, las señales selectoras también se convierten en señales digitales leídas por el PLC, esto es necesario ya que dentro de la programación se podrá identificar los datos de temperatura y humedad, a través de la combinación de las señales selectoras. Las combinaciones corresponden a: 00,01,10,11, el primer bit corresponde a la señal selectora 1 y el segundo a la señal selectora 0.

Cabe destacar que, el circuito regulador de voltaje permite reducir el voltaje de la fuente de alimentación por medio del integrado LM317T a un valor de 5 V DC, este voltaje es necesario para alimentar a los sensores de humedad AM2001.

## 2.7 Esquema del Generador de ondas cuadradas

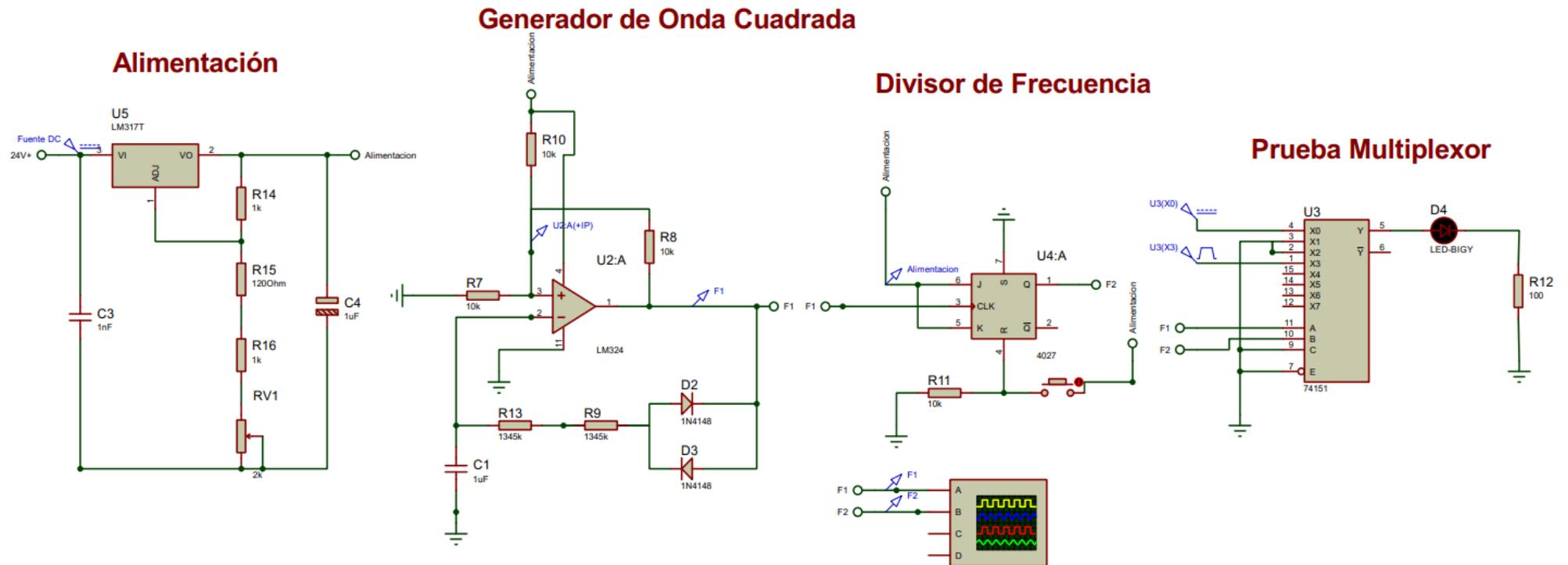
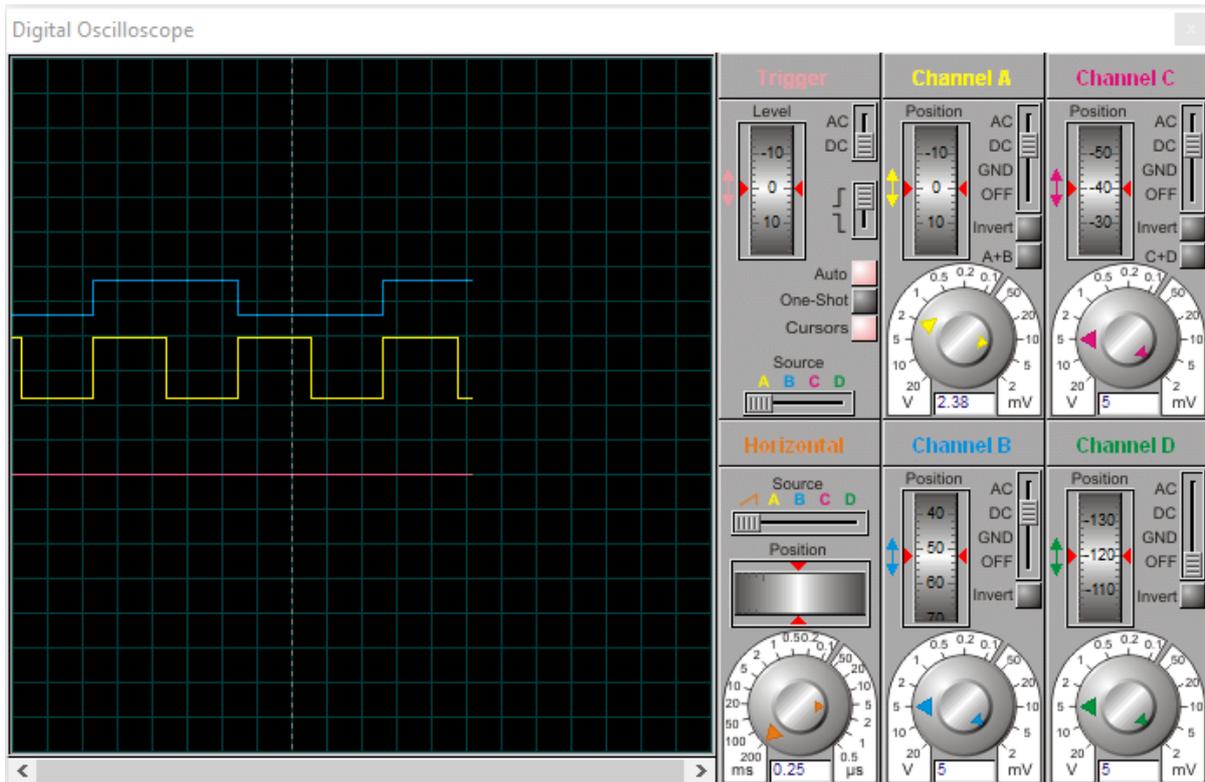


Figura 2-21: Diagrama esquemático del generador de ondas cuadradas.

En la figura 2-22 podemos observar el diagrama esquemático para el generador de onda cuadradas, el cual realizará la activación de las entradas analógicas colocadas en el multiplexor. En el diagrama encontramos la etapa de alimentación, amplificación, y la etapa para la división de la frecuencia.



**Figura 2-22: Señales del generador obtenidas en el osciloscopio.**

En la figura 2-23 observamos la salida de las señales del generador obtenidas en el osciloscopio, donde tenemos una señal de 1 segundo (color azul) y la otra de medio segundo (color amarillo). Con ambas señales realizamos la multiplexación de las diferentes entradas analógicas de los sensores de temperatura y humedad respectivos para llevar a cabo el proceso de secado de granos.

## 2.8 Dimensionamiento del sistema de energía fotovoltaico

**Tabla 2-5: Elementos del sistema Fotovoltaico.**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Ventilador 50W	1
Paneles fotovoltaicos de 330 W	6
Inversor híbrido conectado a la red y autónomo de 1 kW	1
Regulador 12/24	1
Inversor autónomo de 500 W	1
Batería solar de 100 AH	2

En la tabla 2.6 se muestran los elementos necesarios para poder realizar la implementación de un sistema de distribución eléctrica para el sistema secador de granos, realizando una pequeña red eléctrica a través del sistema de generación fotovoltaico, a partir de la incidencia de los rayos ultravioletas emitidos por el sol.

Al utilizar los módulos fotovoltaicos, se tiene un sistema autosustentable y amigable con el medio ambiente, generando un gran beneficio.

El cálculo y diseño de nuestro sistema eléctrico se distribuye de la siguiente manera:

- Estimación del consumo energético de nuestro sistema.
- Dimensionamiento de los paneles solares a utilizar.

### **Estimación del consumo de potencia de nuestro sistema electrónico**

**Tabla 2-6: Estimación del consumo de corriente de los componentes del Sistema**

<b>Detalle</b>	<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo (mA)</b>
Medición de humedad	Sensor AM2001	2	2mA
Medición de Temperatura	Sensor PT100	3	20mA
Medición de Voltaje	Sensor de voltaje	1	2mA
Módulo Multiplexor	74HC4067	1	20mA
Controlador	PLC LOGO	1	1,2A
	<b>Total</b>		1244mA

En la tabla 2.7 se muestra el detalle de consumo de corriente cada elemento del sistema. En el cual observamos que se tiene un consumo de corriente total de 1.24 Amperios, cuyo dato se utiliza como soporte al momento del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

## 2.8.1 Cantidad de paneles solares

Se utilizan 6 paneles solares de la marca HERSIC Internacional con una potencia máxima de 340W a 12V, de modo que tendremos un estimado de 2000W de potencia total.



TIPO DE MÓDULO:		HERSIC-SP340W-72P	
Potencia pico (Pmax)	(W):	340	
Tolerancia de producción	(%):	0" +3	
Corriente de potencia máxima (Imp)	(A):	9.07	
Voltaje de potencia máximo (Vmp)	(V):	37.5	
Corriente de cortocircuito (Isc)	(A):	9.50	
Voltaje de circuito abierto (Voc)	(V):	46.1	
Peso	(Kg):	22.5	
Dimensiones	(mm):	1956*992*40	
Voltaje máximo del sistema	(VDC):	1000	
Clase de aplicación	:	A	
Carga mecánica probada	(Pa):	5400	

Todos los datos técnicos en condiciones de prueba estándar  
AM=1.5 E=1000W/m² T=25°C  
Garantía limitada de producción de 25 años

CE ISO PV CYCLE RETIEY

ADVERTENCIA  
PELIGRO DE ELECTRICIDAD  
ESTA UNIDAD PRODUCE ELECTRICIDAD DC  
CUANDO SE EXPONE A LA LUZ. CUBRIR  
VIDRIO ANTES DE RETIRAR LA TERMINAL  
CAJA DE CONEXIONES LID.

Figura 2-23: Características del Panel Solar de 340W de la marca HERSIC Internacional.

El módulo HERSIC-SP340W-72P de la compañía HERSIC Internacional, con una potencia nominal de  $P = 340W$ , con un voltaje nominal de  $V_{pico} (max) = 37.5V$  y una corriente nominal  $I_n = 9.07A$

## 2.8.2 Selección de batería

Para cargar la batería al menos se necesita una que entregue 2000 Watts de potencia eléctrica y en su salida tenga 12 Vdc, por ello, la batería seleccionada se muestra a continuación:

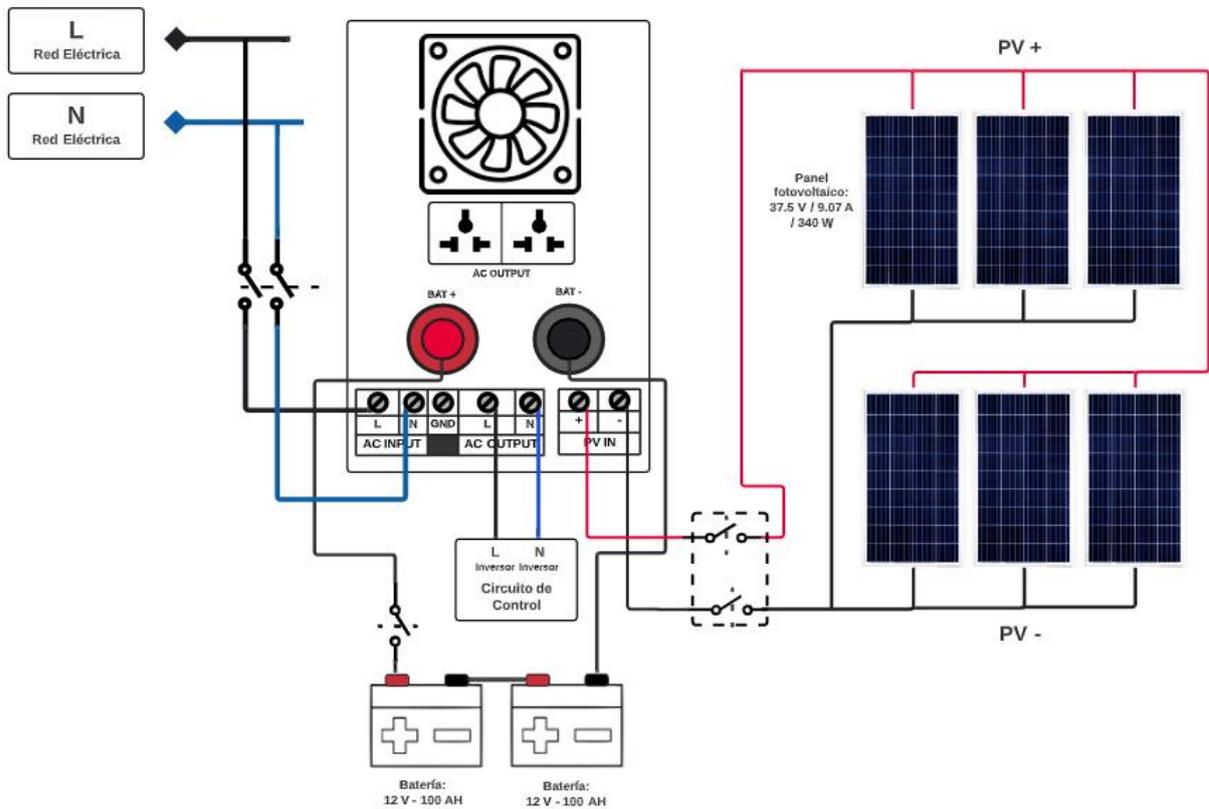


Figura 2-24: Características de la batería de la marca Bless Power.

Para cumplir con la alimentación de la potencia requerida, se conectan 2 baterías de iguales características. La batería mostrada en la figura 2-16 es una batería recargable con un ciclo de carga de uso con voltaje de carga entre 14.5 -14.9V.

Voltaje en uso intermitente: 13.6V – 13.9V.

## 2.9 Circuito de Potencia



**Figura 2-25: Diagrama esquemático del sistema fotovoltaico.**

En la figura 2-26 tenemos el diagrama de conexión de todos los elementos del sistema fotovoltaico. El cual trabajará aprovechando la radiación del sol para generar energía que alimente al sistema de proceso de secado de los granos de cacao.

El sistema alimentará el sistema de control del secador de granos a través del sistema fotovoltaico descrito, pero cuando no se provea de la suficiente radiación solar y las baterías se encuentren descargadas, se utiliza la alimentación directa del sistema eléctrico de la empresa pública, y esto se lo consigue mediante el uso del inversor que se observa en la figura 2-24.

## 2.10 Programación en PLC LOGO

### 2.10.1 Entradas y salidas del PLC LOGO

**Tabla 2-7: Lista de entradas del PLC LOGO**

Entrada	Pin de LOGO	Tipo de Entrada	Descripción
Salida de circuito de acondicionamiento de sensor de corriente SCT-013-000.	I1 / AI3	Analógica	Permite medir la corriente consumida por el secador de cacao.
Sensor de Voltaje ZMPT101B	I2 / AI4	Analógica	Permite medir el voltaje de alimentación del secador de cacao.
Selector ON/OFF	I3	Digital	Utilizado para encender o apagar el sistema. ON = 1 OFF = 0
Salida S0 del oscilador de onda cuadrada.	I4	Digital	Estado lógico #1 para identificar la variable seleccionada por el multiplexor analógico.
Salida S1 del oscilador de onda cuadrada.	I5	Digital	Estado lógico #2 para identificar la variable seleccionada por el multiplexor analógico.
Selector Manual/Automático	I6	Digital	Selecciona el modo de operación del sistema. Automático = 1 Manual = 0
Sensor de Temperatura PT100	I7 / AI1	Analógica	Permite medir la temperatura en la zona media de la cámara de secado.
Salida de Mux CD74HC4067	I8 / AI2	Analógica	La salida del multiplexor puede constituir un dato de humedad o temperatura. Cada dato puede ser identificado gracias a las salidas S0 y S1.

La tabla 2-7 presenta un resumen de las entradas digitales y analógicas del PLC LOGO, junto con su respectiva función dentro del proceso de secado.

**Tabla 2-8: Lista de salidas del PLC LOGO**

Salida	Pin de LOGO	Descripción
<b>Ventilador</b>	Q1	El ventilador se enciende todo el tiempo.
<b>Extractor</b>	Q2	Se utiliza para el enfriamiento del sistema.
<b>Resistencia #1</b>	Q3	Permiten el calentamiento del sistema.
<b>Resistencia #2</b>	Q4	

La tabla 2-8 presenta el resumen de las salidas del PLC LOGO para activar cada uno de los actuadores. Además, se presenta una breve descripción de la función de cada actuador dentro del proceso de secado.

### 2.10.1 Encendido del Sistema

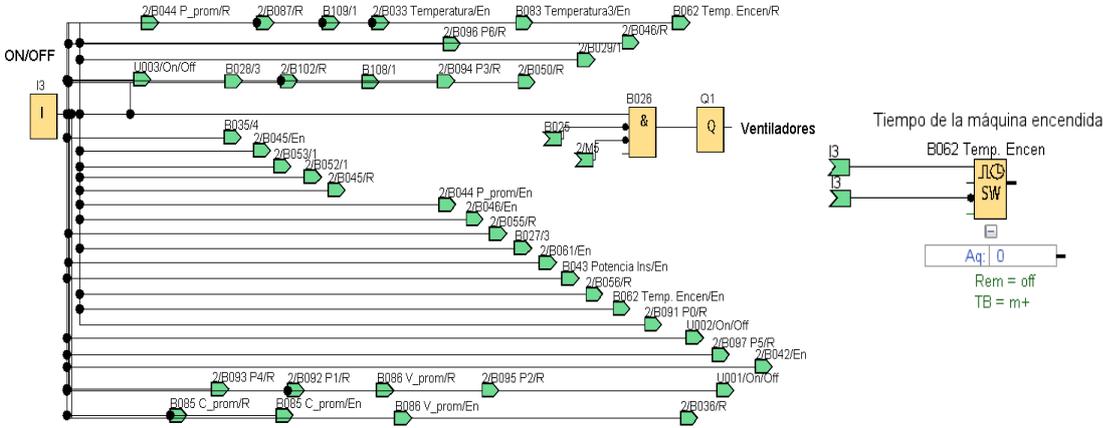


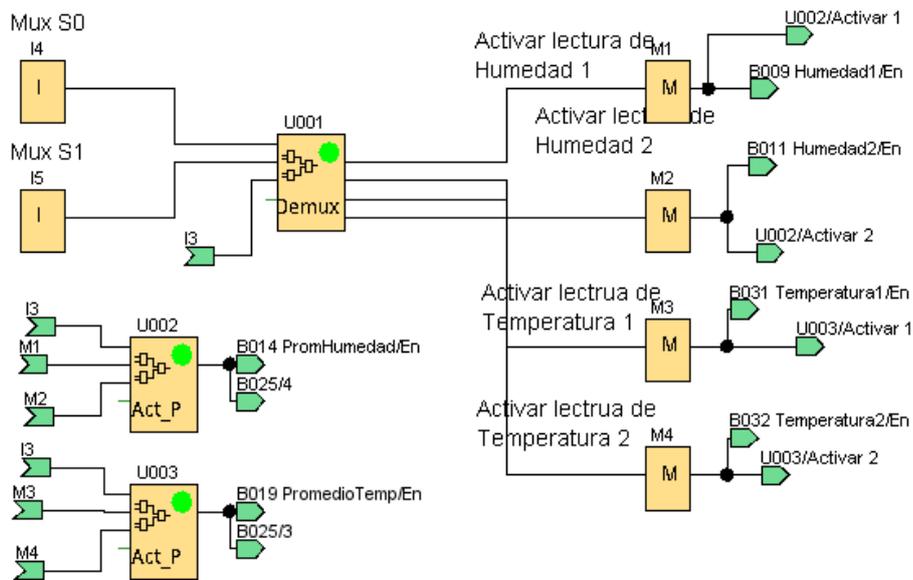
Figura 2-26: Programación en bloques para el encendido del sistema.

La programación mostrada en la figura 2-27 indica el inicio del funcionamiento del programa. El ventilador, correspondiente a la salida Q1 se mantendrá encendido una vez que se accione la entra I3, esto se mantendrá siempre y cuando las señales que indiquen la finalización del proceso (B025 y M5) se encuentren apagadas. Caso contrario el ventilador se mantiene apagado.

Se incluye un temporizador que se mantendrá activo una vez que se ha iniciado el proceso, esto permite al operador conocer el tiempo por el cual el equipo se ha mantenido en estado de encendido, a pesar de haber culminado con el proceso de secado.

## 2.10.2 Multiplexación de señales analógicas

### Señales para seleccionar el sensor del multiplexor analógico.

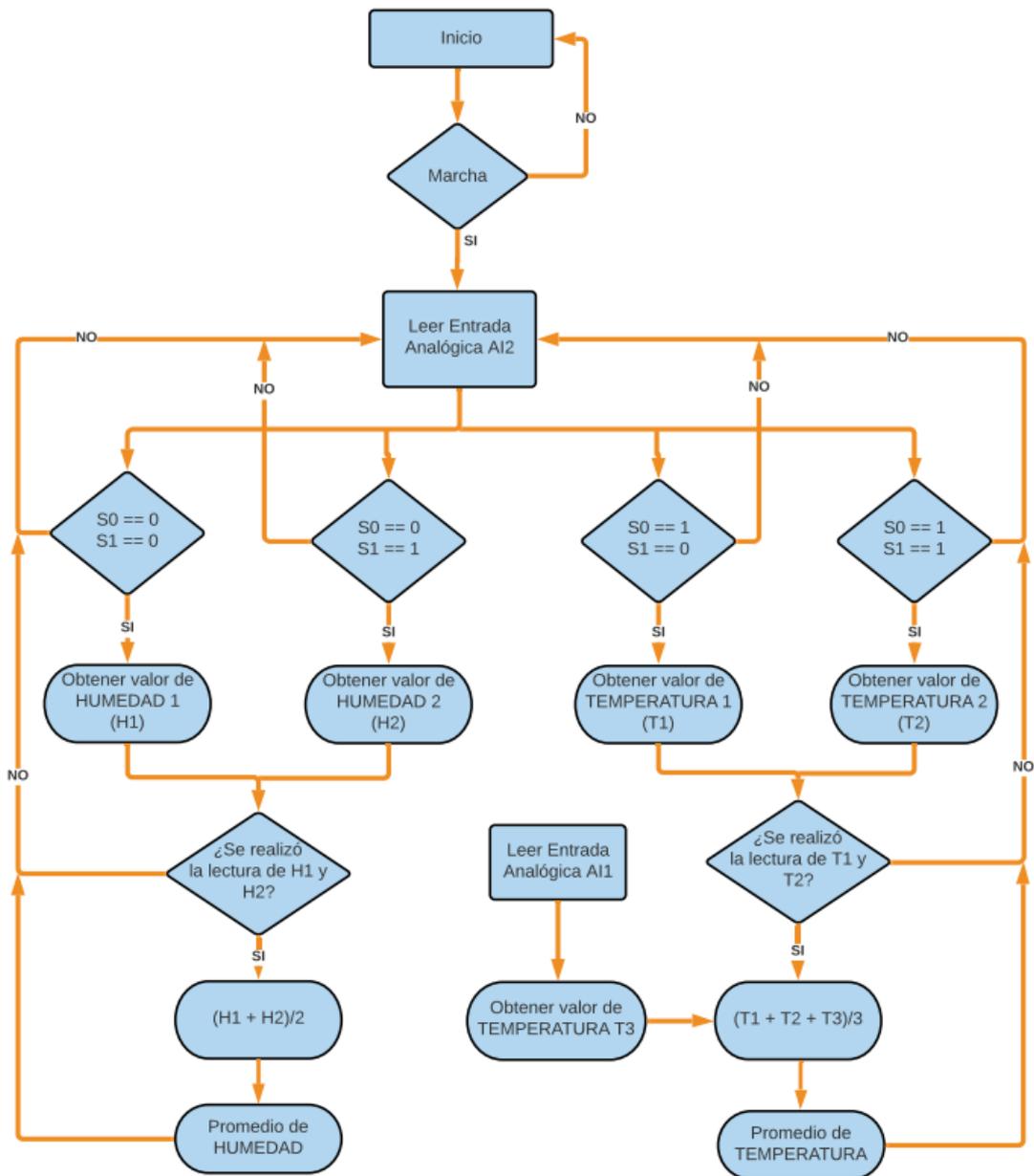


**Figura 2-27: Señales para identificar el dato de humedad o temperatura entregado por el multiplexor analógico**

En las entradas I4 e I5 se conectan las salidas S0 y S1 provenientes del generador de onda. El grupo de entradas I4 e I5 tomarán las siguientes combinaciones: 00, 01, 10, 11 en donde las dos primeras combinaciones corresponden a datos de humedad y las últimas a temperatura.

El bloque U001 o Demux corresponde a un bloque UDF o función definida por el usuario en la que se implementa un Demultiplexor por medio de compuertas AND y NOT. El bloque Demux permite activar las marcas de sistema M1, M2, M3 y M4 de acuerdo a los códigos 00, 01, 10 y 11. El bloque U002 y U003 permiten conocer cuándo se ha

completado la primera lectura de los sensores de humedad y de temperatura respectivamente. Estos bloques se activan desde el encendido del programa (entradaI3).



**Figura 2-28: Diagrama de flujo del proceso de lectura de la entrada analógica AI2**

La salida del multiplexor analógico se encuentra conectada a la entrada física I8 del PLC, lo cual funciona como una entrada analógica AI2. La información que recoge el multiplexor corresponde a datos de humedad y temperatura. Las entradas selectoras S0 y S1 permiten identificar cada uno de los datos.

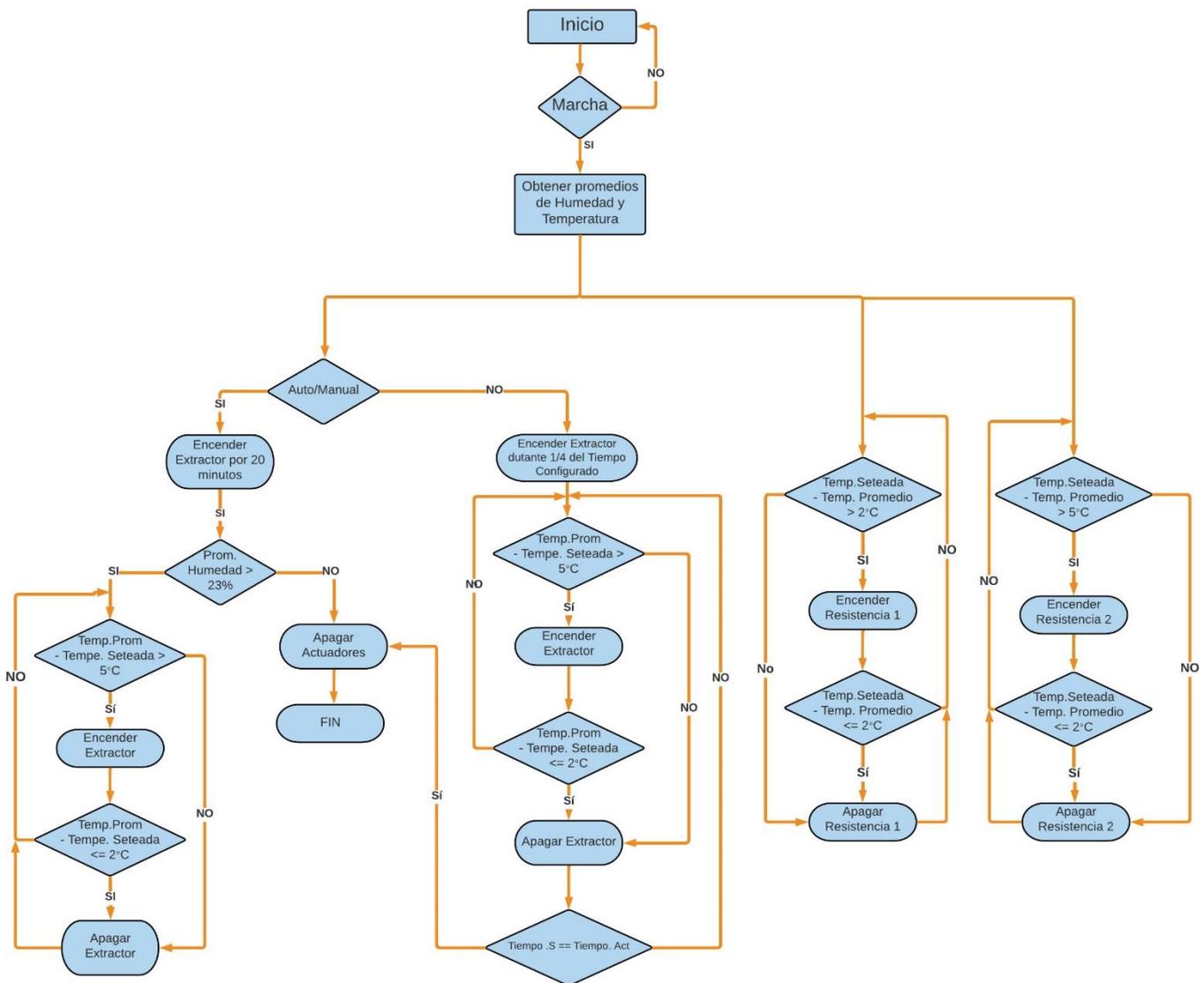
- Cuando  $S0 = 0$  y  $S1 = 0$  el dato seleccionado corresponde a la medición del sensor de humedad ubicado en la parte superior del prototipo, este dato se denomina Humedad 1.

- Cuando  $S0 = 0$  y  $S1 = 1$  el dato seleccionado corresponde a la medición del sensor de humedad ubicado en la parte inferior del prototipo, este dato se denomina Humedad 2.
- Cuando  $S0 = 1$  y  $S1 = 0$  el dato seleccionado corresponde a la medición del sensor de temperatura ubicado en la parte inferior del prototipo, este dato se denomina Temperatura 1.
- Cuando  $S0 = 1$  y  $S1 = 1$  el dato seleccionado corresponde a la medición del sensor de temperatura ubicado en la parte superior del prototipo, este dato se denomina Temperatura 2.

En la programación del PLC se utiliza bloques de funciones aritméticas que permiten obtener el promedio de los datos de humedad y temperatura medidos. El bloque de instrucción aritmética únicamente obtendrá el promedio de humedad cuando el programa garantice que se ha leído como mínimo un dato correspondiente a la humedad 1 y humedad 2. Para el caso de temperatura se añade un valor extra proveniente de la entrada analógica AI1.

El sistema cuenta con un sensor de temperatura (PT100) que se encuentra ubicado en la zona central de la cámara de secado. En esta zona la medición de temperatura se realiza de forma constante y el valor de la misma se incluye en el bloque de instrucción aritmética que permite obtener el valor promedio de temperatura. Cabe recalcar que el bloque de instrucción aritmética calcula el promedio únicamente cuando se ha leído como mínimo un dato correspondiente a la temperatura 1 y temperatura 2.

### 2.10.3 Control de Temperatura y Humedad.

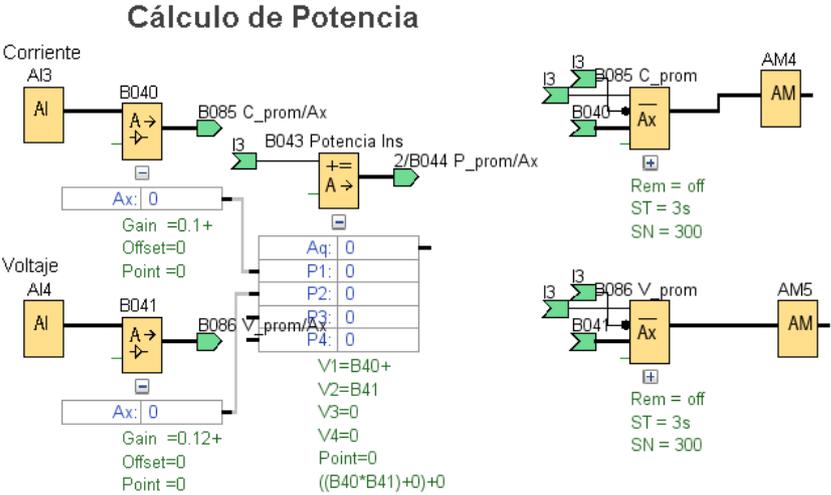


**Figura 2-29: Diagrama de flujo para el control de temperatura y humedad.**

En la figura 2-30 se presenta el diagrama de flujo para el control de temperatura y humedad, donde una vez que el programa se encuentra en marcha y se realiza la lectura de los datos de humedad y temperatura, se procede a utilizar el promedio de dichos valores para realizar el control de temperatura y humedad. El extractor permite regular la humedad y disminuir la temperatura del sistema. Por lo tanto, el encendido y apagado de este actuador depende de los valores de temperatura y humedad; así como del modo de operación del sistema, el cual puede ser automático o manual.

En el modo automático el extractor funcionará durante 20 minutos, que es el tiempo estimado en el que el cacao libera una gran cantidad de humedad. Mientras la humedad dentro de la cámara de secado sea mayor a 23% el sistema encenderá o apagará el extractor dependiendo de la temperatura de la cámara de secado, cuando la temperatura

promedio sobrepasa en 5 °C a la temperatura configurada el extractor se encenderá hasta que la diferencia sea reducida a 2 °C, en dicho instante el extractor se apagará. En caso de que la humedad sea menor o igual a 23%, el proceso finaliza. En el modo manual, el extractor iniciará encendido durante un período aproximado a la cuarta parte del tiempo configurado. El extractor continuará encendido o apagado de acuerdo a las condiciones que permiten comparar la temperatura promedio con la temperatura de operación. En el modo de operación manual el control del extractor funcionará siempre y cuando el tiempo de funcionamiento del prototipo sea diferente al tiempo de operación configurado por el usuario, caso contrario el proceso finalizará. Las resistencias del sistema permiten elevar la temperatura dentro de la cámara de secado, dependiendo de la temperatura de activación configurada en la programación. Es decir, si la temperatura dentro de la cámara de secado es menor en 2 °C a la temperatura de operación se enciende una resistencia y si la temperatura en la cámara es menor a 5 °C con respecto a la temperatura de operación, se encenderá una segunda resistencia. Cálculo de la potencia consumida por el secador de cacao.

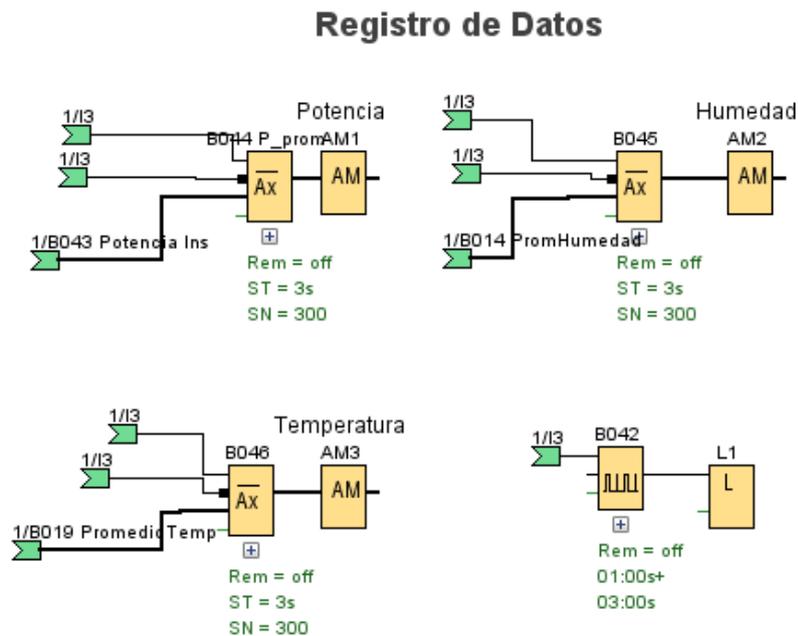


**Figura 2-30: Lectura de sensor de corriente y voltaje para el cálculo de la potencia.**

En la figura 2-31 se presenta la lectura de sensor de corriente y voltaje para el cálculo de la potencia, siendo la entrada analógica AI3 y AI4 las cuales nos permiten obtener los valores de corriente y voltaje respectivamente. Posteriormente se utiliza un bloque de instrucción aritmética que permite realizar la multiplicación entre la corriente y voltaje instantáneos, con la finalidad de obtener la potencia instantánea del sistema. A su vez los bloques colocados a la derecha de la figura 2-31 calculan el valor promedio de la

corriente y el voltaje durante un tiempo de muestreo de 3s, tomando 100 muestras por cada segundo.

#### 2.10.4 Registro de datos en Microsoft Excel.



**Figura 2-31: Registro de datos**

En la figura 2-32 se obtiene el promedio de la potencia instantánea, la humedad promedio y temperatura promedio.

En la programación se utiliza un bloque especial, disponible en el software LOGOSoft Confort, el bloque se denomina registro de datos. En la figura el bloque de registro de datos se identifica con la denominación L1.

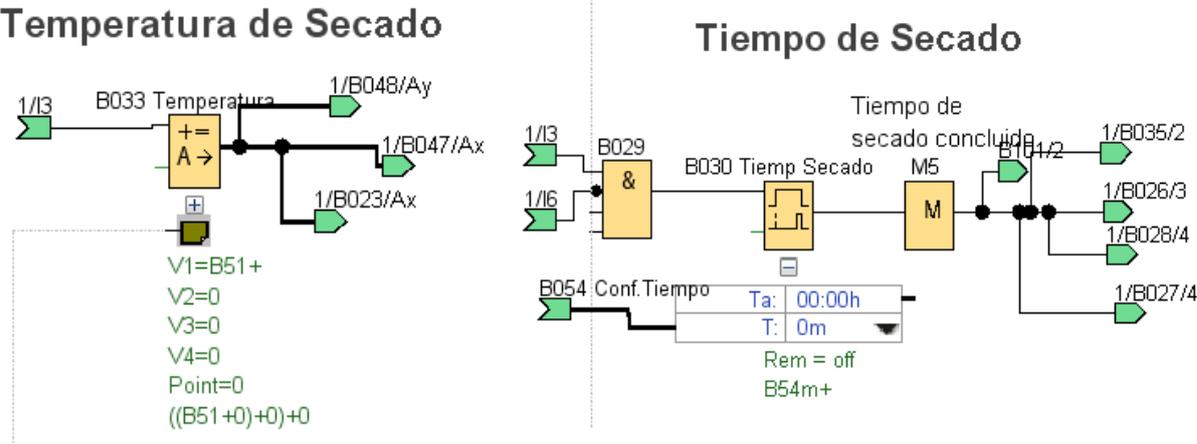
La configuración del bloque de registro de datos permite seleccionar los valores, ya sean analógicos o digitales, que se requieren para ser almacenados en la hoja de Microsoft Excel. En la programación mostrada, el bloque L1 permite recoger los datos almacenados en las marcas analógicas AM1, AM2, AM3, que corresponden a los datos de potencia promedio, humedad promedio y temperatura promedio calculados durante intervalos de tiempo de 3 segundos de duración.

El registro de los datos puede ser guardado en la memoria interna del PLC LOGO, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de hasta 512KB, también se puede utilizar una tarjeta micro SD de hasta 8GB.

En el PLC LOGO cada hoja de cálculo puede contener hasta 20000 líneas de información. Se estima que el proceso de secado de cacao tenga una duración aproximada de 14 horas. El muestreo de datos se realiza cada 3 segundos, por lo que durante 14 horas se podrá obtener un máximo de 16800 líneas. Además, una vez que

se alcanza el número máximo de líneas, se genera automáticamente un nuevo archivo que permite continuar con el registro de datos. La capacidad máxima de memoria del PLC LOGO, permite un almacenamiento de hasta 50 archivos.

**2.10.5 Registro de valores configurados por el usuario.**



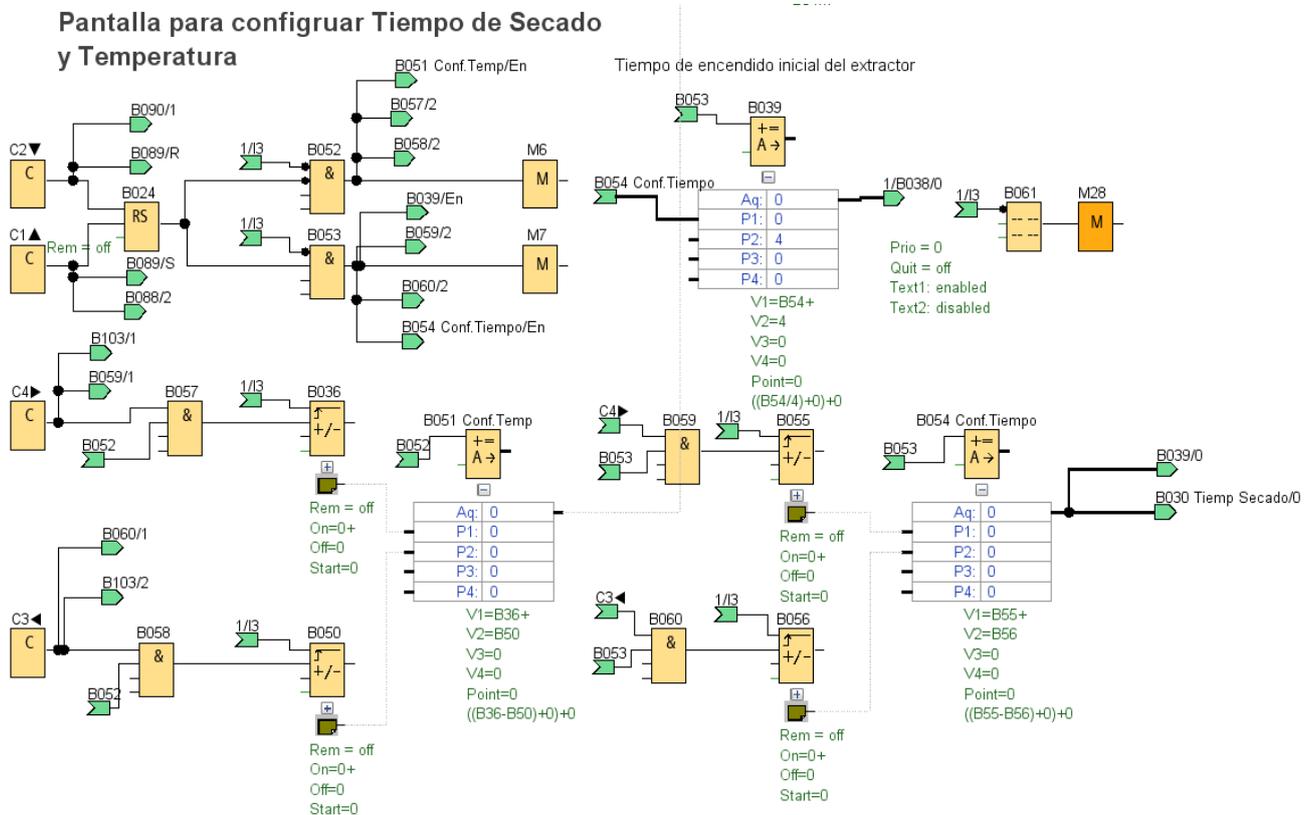
**Figura 2-32: Registro de temperatura y tiempo de secado**

En la figura 2-33 se muestra la programación con la cual se transfiere los datos ingresados por el usuario a bloques que permiten registrarlos dentro del programa. El dato de temperatura de secado se distribuye mediante un bloque de instrucción aritmética que se activa al momento de iniciar el programa, mientras que el tiempo de secado se coloca dentro de un temporizador con retardo a la conexión. El temporizador únicamente se activa cuando el programa se encuentra en modo “Manual”.

## 2.11 Pantallas HMI

En esta sección se presenta la programación de las diferentes pantallas HMI para la configuración y monitoreo del funcionamiento del sistema automatizado del secador de granos de cacao.

### 2.11.1 Programación para la pantalla de configuración de parámetros.



**Figura 2-33: Programación de la pantalla para configurar el tiempo de secado y temperatura de operación**

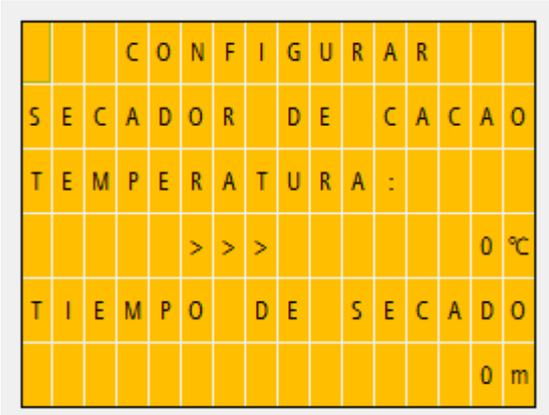
En la figura 2-34 se programan los botones externos del PLC LOGO. Mediante los botones arriba C1 y abajo C2 se activan las marcas de sistema M6 y M7 con las cuales se puede seleccionar entre la configuración de temperatura de operación y tiempo de secado.

Los botones de izquierda C3 y derecha C4 permiten incrementar el valor de los contadores B036 y B050. A continuación, se realiza la resta del contador B036 menos B050, esto con la finalidad de que el usuario pueda incrementar o decrementar el valor de la temperatura o tiempo de secado utilizando los botones C4 y C3.

Cabe recalcar que los bloques de esta programación funcionan únicamente cuando el selector de ON/OFF se encuentra en estado OFF. Únicamente los contadores B036 y

B050 se reinician cuando el selector se encuentra en ON. En esa sección la pantalla tendrá un color naranja, ya que se utiliza la marca de sistema M28.

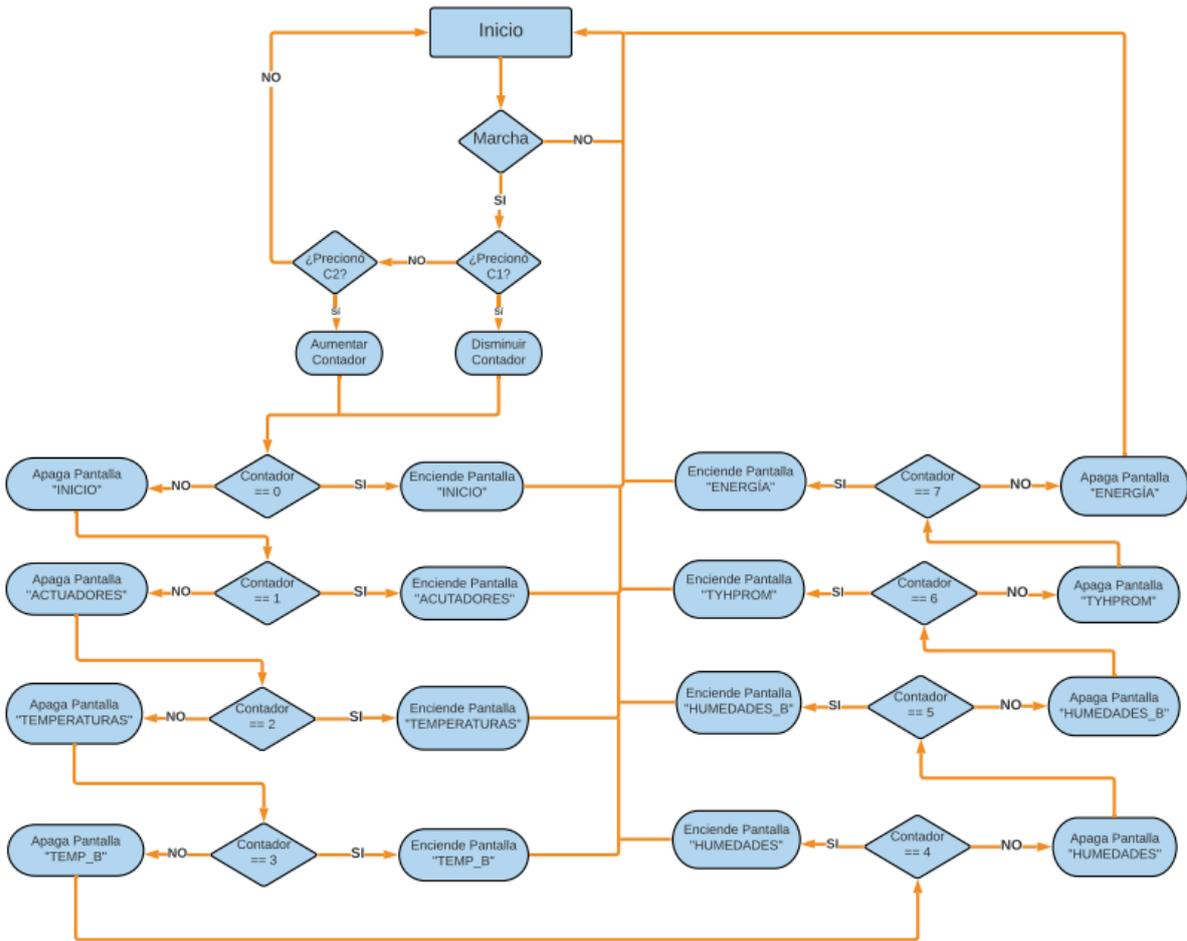
- **Pantalla para la configuración de parámetros:**



**Figura 2-34: Pantalla para la configuración de parámetros**

La figura 2-35 muestra la pantalla con la que el usuario podrá configurar los parámetros como: temperatura de operación y tiempo de secado. Esta pantalla se muestra únicamente cuando el selector de inicio se mantiene en estado OFF. En esta pantalla el usuario selecciona la variable a configurar por medio de los botones C1 y C2 (arriba y abajo) del PLC LOGO. Los botones C3 y C4 (izquierda y derecha) permiten disminuir o aumentar el valor seleccionado. La temperatura se muestra en grados Celsius y el tiempo de secado en minutos.

### 2.11.2 Programación para las pantallas del sistema funcionado.



**Figura 2-35: Diagrama de flujo de la programación para las pantallas de la HMI del sistema en funcionamiento.**

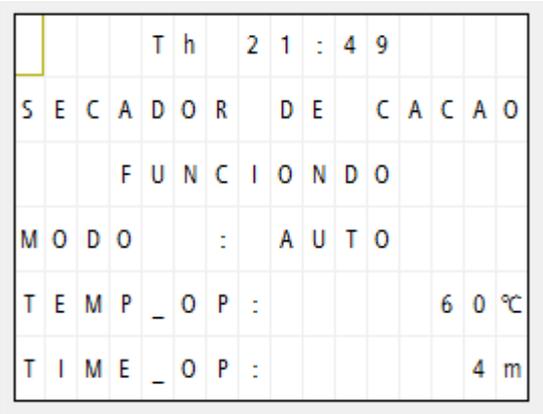
El diagrama de flujo de la figura 2-36, ejemplifica la programación utilizada para que los botones C1 y C2 (arriba y abajo) del PLC LOGO permitan al usuario navegar entre las pantallas del sistema, cuando el secado del grano ha iniciado.

Existen 8 pantallas que facilitan el monitoreo del sistema. Cada pantalla se encuentra asociada a un número entre 0 y 7. La navegación de las pantallas se produce gracias a varios bloques contadores que se incorpora en la programación del LOGO. Cada bloque se activa de acuerdo al número que le corresponde a cada pantalla. Por otro lado, se utilizan las teclas C1 y C2 para aumentar o disminuir el valor de cada contador, todos los contadores se encuentran sincronizados y su funcionamiento inicia al encender el sistema.

Por defecto los contadores inician con un valor de 0, por lo que al iniciar el sistema la pantalla que se mostrará será la denominada "INICIO". Cuando el usuario presiona C2 el contador incrementa y por lo tanto se mostrará la pantalla número 1 que corresponde a "TEMPERATURAS". Si el usuario pulsa C1 el contador decrementará su valor a 0 y

por lo tanto se retorna a la pantalla “INICIO”. Es decir, el usuario avanza entre cada una de las pantallas pulsando el botón C2 y regresa a las pantallas anteriores pulsando C1. A continuación, se muestra el diseño de cada una de las pantallas configuradas en la programación descrita:

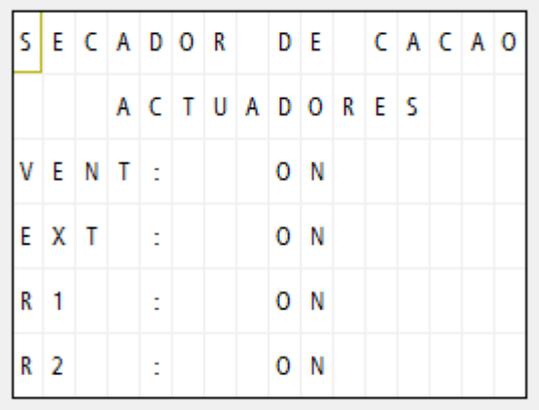
- Pantalla “INICIO”:



**Figura 2-36: Pantalla #1 del secador funcionado.**

Una vez que el usuario selecciona el modo ON, se mostrará la pantalla de la figura 2-37. En esta pantalla se puede observar el modo de operación del secador, el cual puede ser automático o manual. También se muestra la temperatura configurada por el usuario o temperatura de operación y el tiempo en el que la máquina ha permanecido en estado ON.

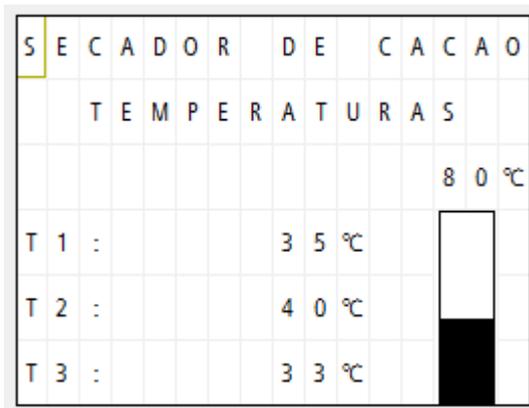
- Pantalla “ACTUADORES”:



**Figura 2-37: Pantalla #2, se muestra el estado de los actuadores**

La figura 2-38 permite al operador monitorear el estado de los actuadores del sistema, es decir, el usuario puede conocer si el ventilador o extractor se encuentra encendido o apagado, a su vez, se puede conocer las resistencias que se encuentran trabajando para permitir que el secador alcance su temperatura de operación.

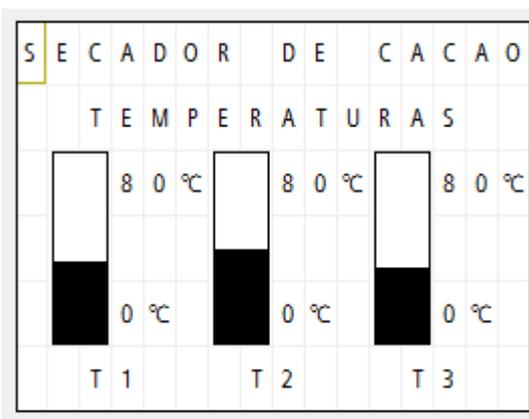
- Pantalla “TEMPERATURAS”:



**Figura 2-38: Pantalla #3, se muestra los valores de las temperaturas dentro de la cámara de secado y temperatura promedio.**

La pantalla de la figura 2-39 permite conocer el valor de las diferentes temperaturas de acuerdo a la ubicación de los sensores dentro de la cámara de secado. En el gráfico de barra ubicado a la izquierda de la pantalla se puede estimar el valor promedio de la temperatura. El valor máximo a medir es de 80 °C.

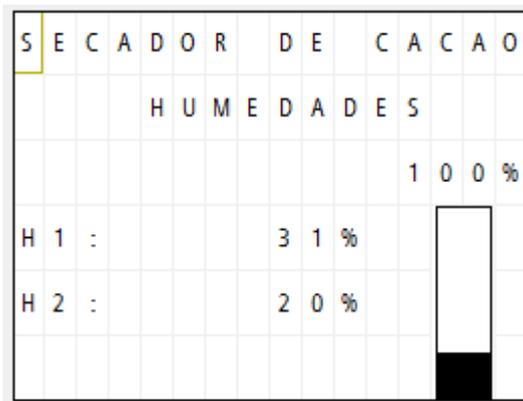
- Pantalla “TEMP\_B”:



**Figura 2-39: Pantalla #4, comparación de las diferentes temperaturas dentro de la cámara de secado.**

En la figura 2-40 se encuentra cada una de las temperaturas de la cámara de secado ilustradas mediante gráficos de barras. Esto facilita la comparación de las temperaturas.

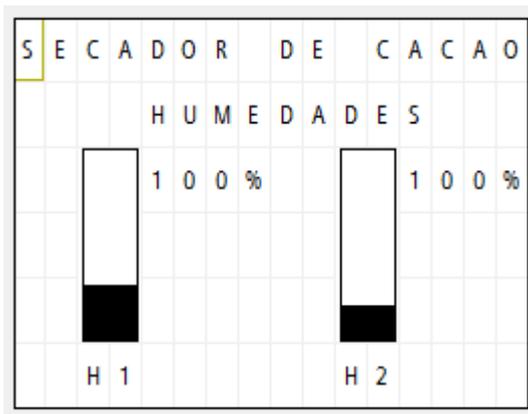
- Pantalla “HUMEDADES”:



**Figura 2-40: Pantalla #5, se muestra los valores de humedad dentro de la cámara de secado y humedad promedio.**

En la figura 2-41 el operador puede visualizar el valor de la humedad, medida en la zona inferior y superior de la cámara de secado. Al igual que el caso anterior se muestra un gráfico de barra en donde se ejemplifica el valor de la humedad promedio. El valor máximo de humedad a medir es el 100%.

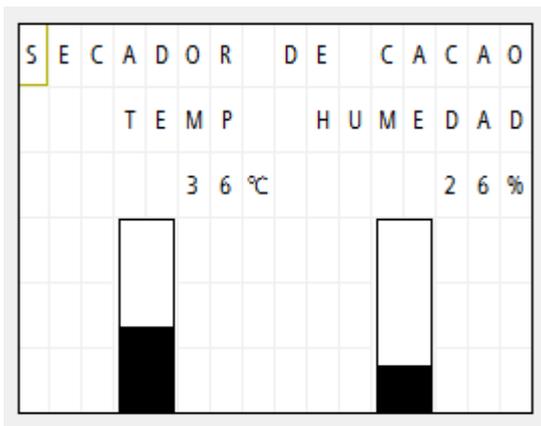
- Pantalla “HUMEDADES\_B”:



**Figura 2-41: Pantalla #6, comparación entre las humedades medidas dentro de la cámara de secado.**

En la pantalla de la figura 2-42 se observa la comparación gráfica de cada uno de los valores de humedad medidos dentro de la cámara de secado.

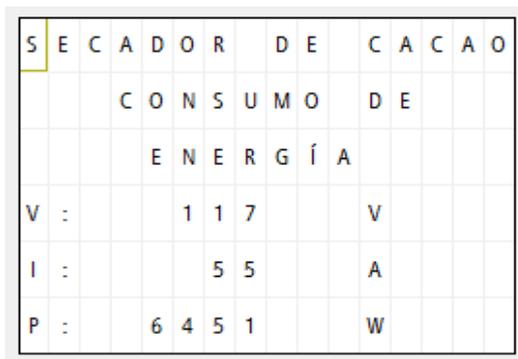
- Pantalla “TYH PROM”:



**Figura 2-42: Pantalla #7, comparación entre las humedades medidas dentro de la cámara de secado**

En la figura 2-43 el operador podrá visualizar los valores promedios de temperatura y humedad en la cámara de secado. Los valores se encuentran expresados por gráficas de barra y por su respectivo valor decimal.

- Pantalla “ENERGIA”:



**Figura 2-43: Pantalla #8, comparación entre las humedades medidas dentro de la cámara de secado.**

En la figura 2-44 se encuentran los valores de voltaje, corriente y potencia promedio que utiliza el sistema. El usuario puede acceder a cada una de las pantallas descritas anteriormente utilizando las teclas C1 y C2 que corresponden a los botones arriba y abajo del PLC LOGO.

### 2.11.3 Programación para la pantalla de configuración.

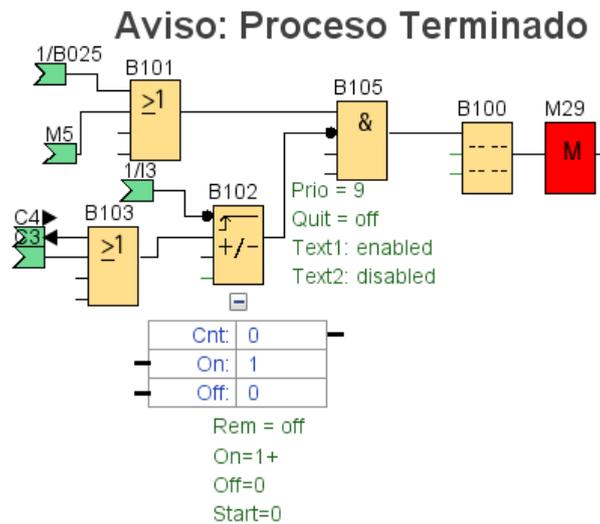


Figura 2-44: Programación para la pantalla de aviso

- **Pantalla de aviso: Proceso Terminado**

La figura 2-45 muestra la programación de la pantalla que permite indicar que el proceso ha finalizado. La pantalla de aviso se mostrará en color rojo y se activará una vez que el proceso finalice ya sea en el modo automático o manual. En la programación se incluyen las teclas de selección C4 y C5 que permiten al usuario desactivar la pantalla de aviso y continuar navegando entre las pantallas del sistema

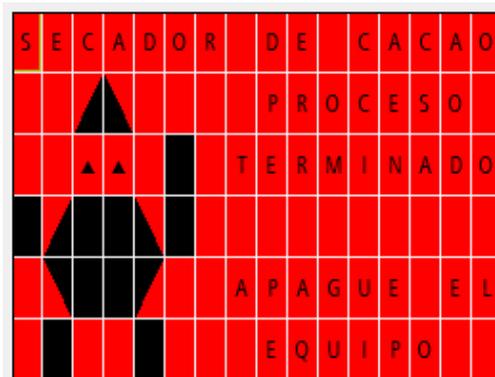


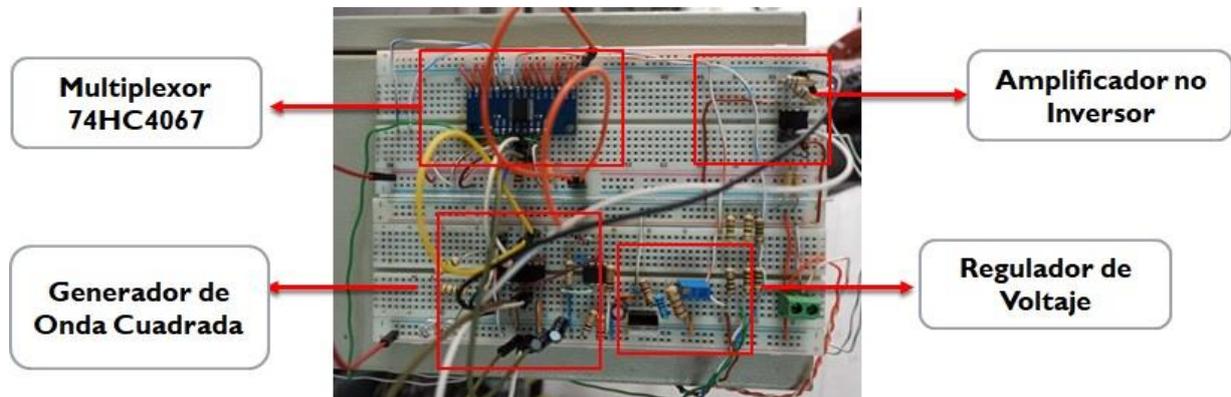
Figura 2-45: Pantalla para finalizar el proceso de secado.

En el sistema se ha incorporado una pantalla de aviso, la cual se muestra en la figura 2-46. La pantalla de aviso se muestra únicamente cuando el proceso ha finalizado, ya sea en modo automático o manual. Esta pantalla se mostrará hasta que el usuario apague el sistema o presione las teclas C3 o C4.

Al apagar el sistema el usuario podrá configurar nuevamente los valores de temperatura y tiempo de operación, esta acción es necesaria para reiniciar el proceso.

## 2.12 Montaje y puesta a punto.

El sistema de control del secador de cacao se compone por el PLC Logo y el circuito electrónico que permite realizar los acondicionamientos necesarios para el uso del multiplexor analógico 74HC4067.



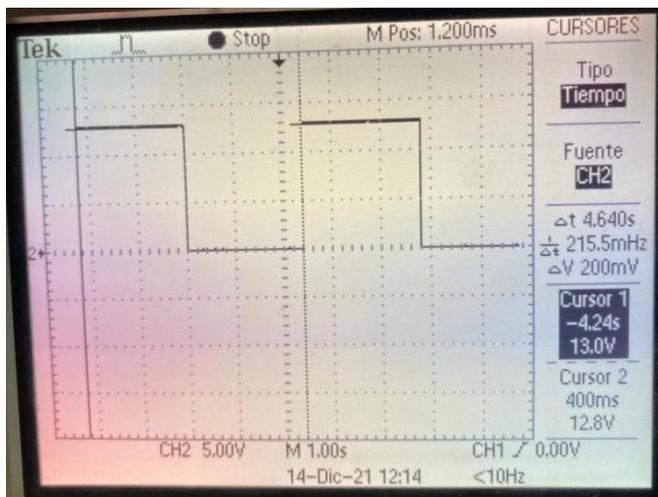
**Figura 2-46: Circuito electrónico para el control del multiplexor analógico**

La figura 2-47 muestra la implementación del circuito de control que permitirá automatizar el proceso de lectura del multiplexor analógico. Como se observa en la figura el circuito se compone por un regulador de voltaje, generador de onda cuadrada, amplificador de onda cuadrada y el multiplexor analógico.

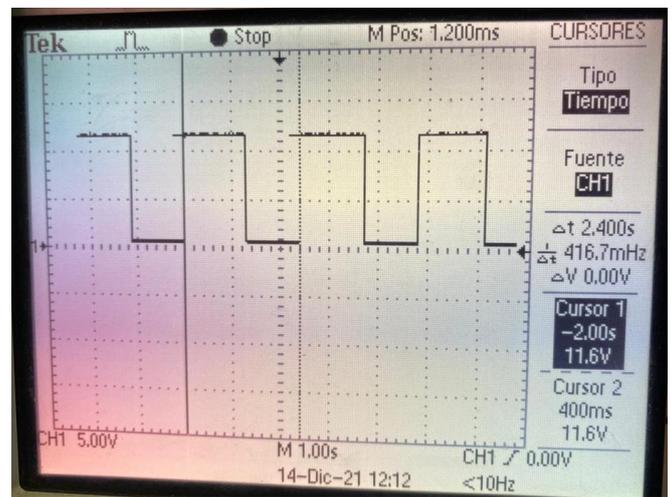
El regulador de voltaje utiliza el integrado LM317 que permite obtener un voltaje de 5 VDC para alimentar el multiplexor y generar las señales selectoras del mismo.

El generador de onda cuadrada cuenta con un amplificador operacional LM741 para producir la onda cuadrada, y un flip flop J-K CD4027BE que es utilizado como divisor de frecuencia para obtener las señales selectoras. Las señales selectoras constituyen ondas cuadradas que oscilan entre 0 y 5 VDC.

Se utiliza el amplificador operacional LM328P en configuración de amplificador no inversor con la finalidad de elevar el voltaje en las señales selectoras de 0-5 VDC a 0-24 VDC. Se requiere realizar esta etapa de amplificación ya que el PLC Logo toma valores mayores a 12 VDC como valores digitales correspondientes a 1 lógico.



a)



b)

**Figura 2-47: a) Señal digital correspondiente a la entrada selectora S1 del multiplexor analógico. b) Señal digital correspondiente a la entrada selectora S0 del multiplexor analógico**

La figura 2-48 muestra a las señales selectoras S1 y S0 que se obtiene al momento de implementar el circuito del generador de onda cuadrada. Para observar las señales se utilizó el osciloscopio Tektronix TDS 1012B.

La figura descrita también permite observar el período de cada una de las señales cuadradas. Para la señal correspondiente a la figura 2-48 a) se observa un período  $T = 4.64$  [s], por otro lado, la señal de la figura 2-48 b) que corresponde a la señal



**Figura 2-48: Comparación de mediciones de temperatura entre el sistema de control y termómetro con datalogger REED SD-947.**

selector S0 cuenta con un período  $T = 2.4$  [s]. Cada señal tiene un ciclo de trabajo aproximado de 50%.

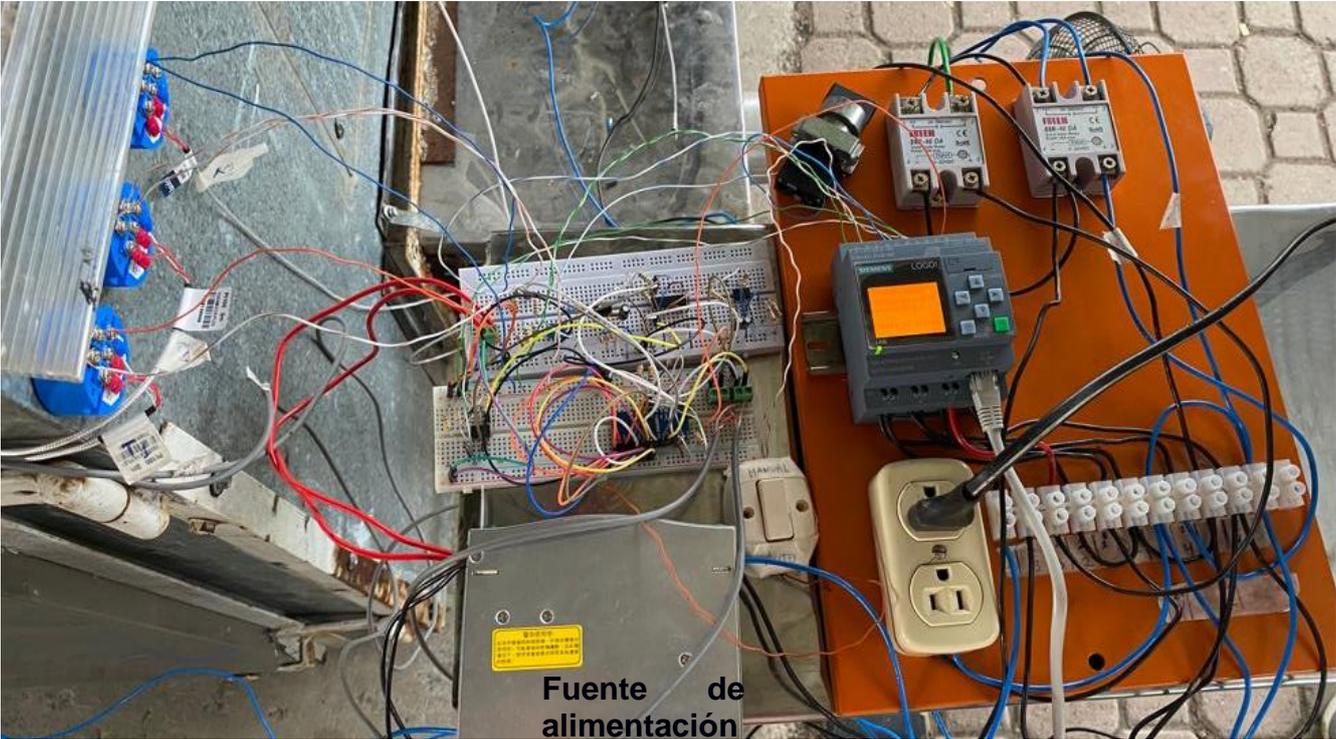
Para comprobar que las mediciones de temperatura de los sensores PT100 sea el correcto, se utilizó el termómetro digital con datalogger REED SD-947. El dispositivo mencionado permite realizar mediciones precisas con los diferentes tipos de termocuplas

existentes. En la figura 2-49 se compara la temperatura del dispositivo con la temperatura denominada T3. Las temperaturas T1 y T2 fueron calibradas girando los tornillos de los trimmers que se encuentran en los transmisores de temperatura.



**Figura 2-49: Comparación de mediciones de humedad**

En la figura 2-50 se observa el valor de la humedad relativa ambiente medido por el Data Logger tipo USB de temperatura y humedad. Se compararon las mediciones de humedad para comprobar que la lectura del sensor AM2001 se mantenga dentro del rango de precisión de  $\pm 3\%$  de humedad relativa, tal como se indica en las especificaciones del sensor.



**Figura 2-50: Puesta en marcha del circuito de control.**

La figura 2-51 muestra la puesta en marcha del equipo se realiza utilizando el circuito de control implementado en protoboard. La alimentación del circuito de control proviene de la fuente Mean Well EDR 120-24 de 5 [A]. A la izquierda de la fuente de alimentación se muestran los transmisores de corriente para los sensores PT100. A la derecha de la fuente de alimentación se encuentra el controlador del sistema acompañado por borneras divisibles que permiten la distribución de la línea y neutro del sistema de 120 VAC. Sobre el controlador se encuentran relés de estado sólido de tipo DC-AC, estos contactos permiten la activación de las resistencias caloríficas y facilitan el aislamiento del circuito de control. En la parte inferior se observa un tomacorriente implementado por disposiciones del cliente, esto debido a que permite realizar la conexión y desconexión del ventilador.



La figura 2-52 permite observar la puesta en marcha del equipo, la cual se realiza un prototipo de secador que cuenta con las siguientes dimensiones:

- **Largo:** 1.05 [m]

**Figura 2-51: Puesta en marcha del sistema**

- **Ancho:** 1.04 [m]
- **Alto:** 1.14 [m]

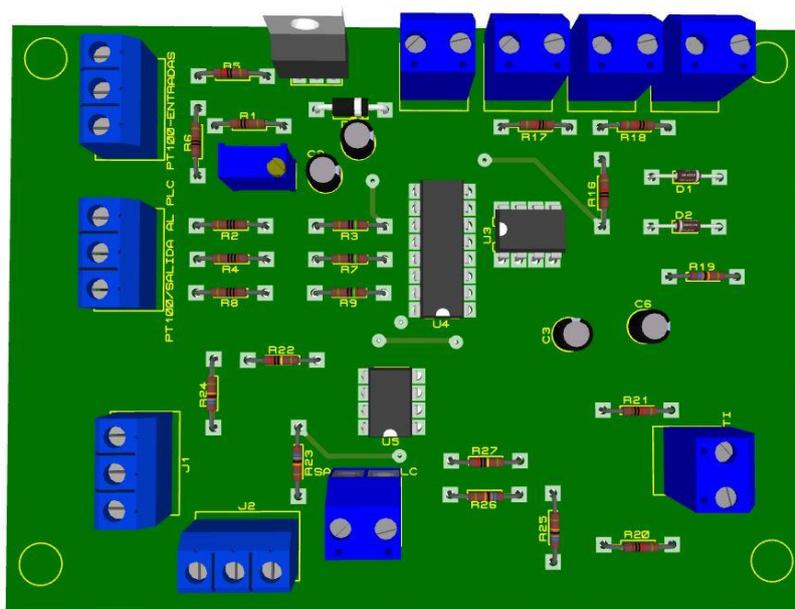
El extractor del sistema se coloca en la parte superior de la cámara de secado, posición en la cual el secador cuenta con una salida de aire. Por otro lado, el ventilador se ubica cerca de la entrada de aire de la cámara de secado, esto con la finalidad de distribuir de forma adecuada el calor de las resistencias y evitar un efecto de enfriamiento. Las resistencias calefactoras del sistema se encuentran dentro de la cámara de secado a una distancia de 30 [cm] frente a la entrada de aire del prototipo.

# CAPÍTULO 3

Procederemos a validar los cálculos y simulaciones dentro de un tiempo determinado para así dar el cumplimiento del funcionamiento correcto del equipo híbrido. Finalmente, podemos verificar el monitoreo de las variables definidas durante el proceso de secado de los granos una vez que se puso en marcha el secador.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Placa electrónica para el acondicionamiento de sensores y generador de onda.



**Figura 3-1: Placa electrónica de acondicionamiento**

En la figura 3-1 se muestra el diseño de la placa electrónica que permite regular el voltaje de alimentación de 24 VDC a 5 VDC. Este voltaje es requerido para alimentar tanto los sensores de humedad como el multiplexor analógico. La placa mostrada incorpora el generador de onda cuadrada y divisor de frecuencia que permite obtener las señales selectoras para producir la conmutación automática de las señales analógicas de humedad y temperatura. El PLC Logo debe recibir las señales del oscilador para diferenciar entre señales analógicas de humedad y temperatura, por lo que es necesario amplificar las salidas del generador de onda cuadrada de 0 – 5VDC a 0 - 24 VDC. Las borneras permiten distribuir la alimentación de 5VDC y 24VDC a los componentes que lo requieran.

### 3.2 Lectura de las mediciones de los sensores del sistema de monitoreo del secador de granos.

El acondicionamiento previo de los sensores permite que el PLC LOGO realice la lectura de las variables físicas que intervienen en el secado del cacao. Esto permite realizar el control adecuado de la temperatura y humedad del proceso de secado, además, por medio de la interfaz gráfica del PLC LOGO se facilita el monitoreo de las variables de interés.

#### Pantalla de Configuración y Operación del proceso



**Figura 3-2: a) Pantalla de configuración del proceso. b) Pantalla de operación del proceso.**

Como se observa en la figura 3-2, se presenta la pantalla de configuración y funcionamiento del proceso a través del display del PLC Logo. Esta pantalla actúa como HMI del sistema. La pantalla en color naranja permite que el operador configure el proceso de secado añadiendo la temperatura y tiempo de secado. La pantalla de color blanco indica el modo en el que se encuentre operando el sistema, la temperatura actual y el tiempo transcurrido del secado.

Es importante tomar en cuenta estos datos para que el operario pueda llevar un control del tiempo transcurrido en caso de realizar el proceso en modo manual, con la finalidad de obtener un grano totalmente seco que mantenga características y parámetros deseados por el usuario.

### Medición de los sensores de Temperatura.



Figura 3-3: a) Se muestra el valor de las temperaturas medidas por los sensores. b) Se muestra las temperaturas en barras con un rango de 0-80 °C

En la figura 3-3 encontramos la medición de los sensores de temperatura ubicados en el sistema. En la primera pantalla de la figura tenemos la representación numérica, mientras que en la segunda pantalla encontramos una representación porcentual en una barra. Estas variables ingresan al PLC a través del multiplexor, el cual controla el tiempo de lectura en los que envía los datos hacia el controlador.

### Medición de los sensores de Humedad.

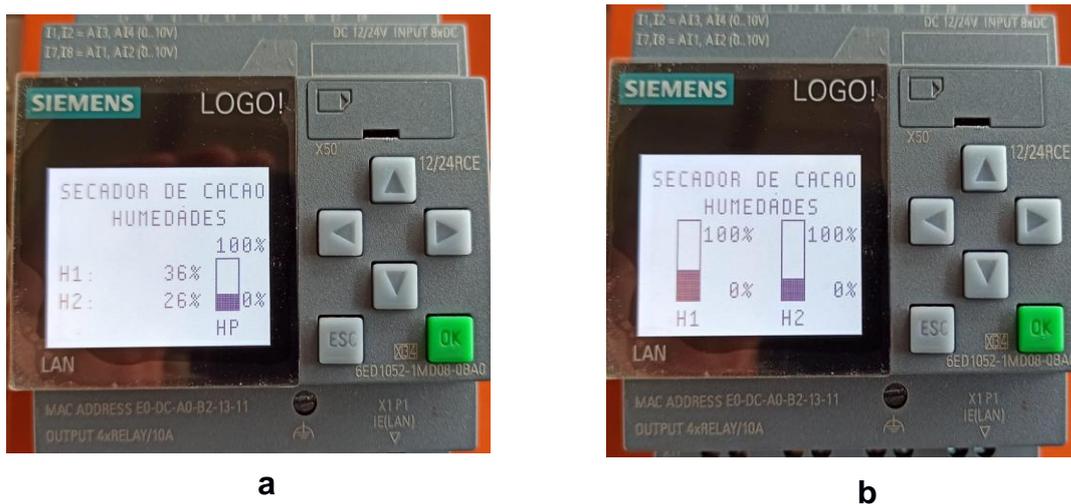


Figura 3-4: a) Se muestra el valor de las humedades medidas por los sensores. b) Se muestra las temperaturas en barras con un rango de 0-100 %.

De manera general, la figura 3-4 tenemos la pantalla con los datos obtenidos de los sensores de humedad ubicados dentro de la cámara de secado. En el sistema se presentan dos sensores de humedad. La lectura de estos sensores es promediada

dentro del programa del PLC Logo con la finalidad de realizar el control de humedad teniendo como referencia la humedad relativa promedio del sistema.

### Medición Promedio de Humedad y Temperatura.



**Figura 3-5: Humedad y temperatura promedio del sistema graficados en barras.**

El usuario puede visualizar los valores de temperatura promedio y humedad promedio, tal como se muestra en la figura 3-5. Se utiliza el diseño de barras con la finalidad de que el usuario pueda interpretar el rango de temperatura y humedad al que se encuentra el equipo, es decir, se facilita conocer si el sistema tiene una temperatura y humedad bajas o elevadas.

### Pantalla de los actuadores



**Figura 3-6: Estado de los actuadores del sistema (ventilador, extractor, resistencia 1 y resistencia 2).**

La pantalla de la figura 3-6 permite al operario conocer el estado de los actuadores del sistema. Cuando un actuador se encuentra funcionando en la pantalla se indica la palabra “ON” y cuando un actuador se encuentra apagado se muestra la palabra “OFF”. Mostrar el estado de los actuadores permite conocer si verdaderamente se activan las salidas del PLC y accede a descartar fallos en la programación o en el controlador.

### Pantalla de aviso “Proceso Terminado”



La Figura 3-7: Estado de los actuadores del sistema (ventilador, extractor, resistencia 1 y resistencia 2), ya que es la única forma en que se pueda reiniciar el proceso de secado.

### 3.3 Pruebas de funcionamiento del sistema.

Los datos que se presentan en cada una de las pruebas se obtienen gracias al bloque de “Registro de Datos” incorporado en la programación del PLC.

#### 3.3.1 Prueba #1 utilizando una resistencia calefactora.

Durante esta prueba se utilizó una muestra de cacao con un peso aproximado de 6 Kg. Para ello se utilizaron tres bandejas, en las que se dividió el peso de la muestra. Tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3-8: Bandejas con muestra de cacao fermentado.**

Posteriormente se ubicaron cada una de las bandejas dentro de la cámara de secado, tal como lo indica la siguiente figura 3-9. La bandeja 1 corresponde se encuentra en la parte superior de la cámara de secado, la bandeja 2 se encuentra en la zona media y la bandeja 3 en la zona inferior. El secador se mantuvo bajo sombra con la finalidad de simular un día nublado.



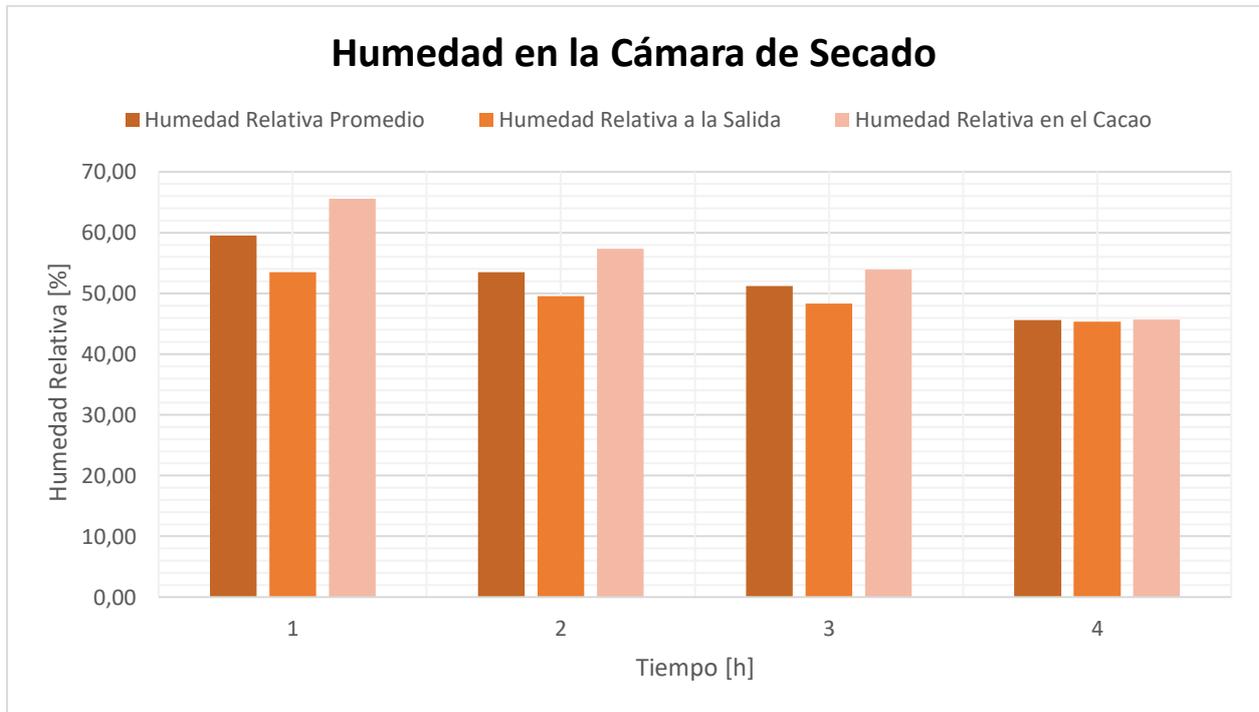
**Figura 3-9: Cámara de secado**

Para el primer ensayo se estableció una temperatura de operación de 60 °C y se estableció una duración de 4 horas de secado. Se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3-1: Promedio por hora de humedad y temperatura en el ensayo 1.**

Tiempo [h]	Humedad Relativa Promedio [%]	Temperatura Promedio [°C]	Humedad Relativa de Salida [%]	Humedad Relativa en el Cacao [%]	Temperatura De Bandeja #1 [°C]	Temperatura de Bandeja #2 [°C]	Temperatura en la Resistencia [°C]
1	59.54	42.02	53.47	65.54	38.97	38.99	48.88
2	53.50	44.67	49.54	57.35	41.02	41.24	52.67
3	51.19	44.41	48.35	53.89	41.93	41.98	50.21
4	45.65	47.44	45.35	45.69	43.64	44.26	55.26

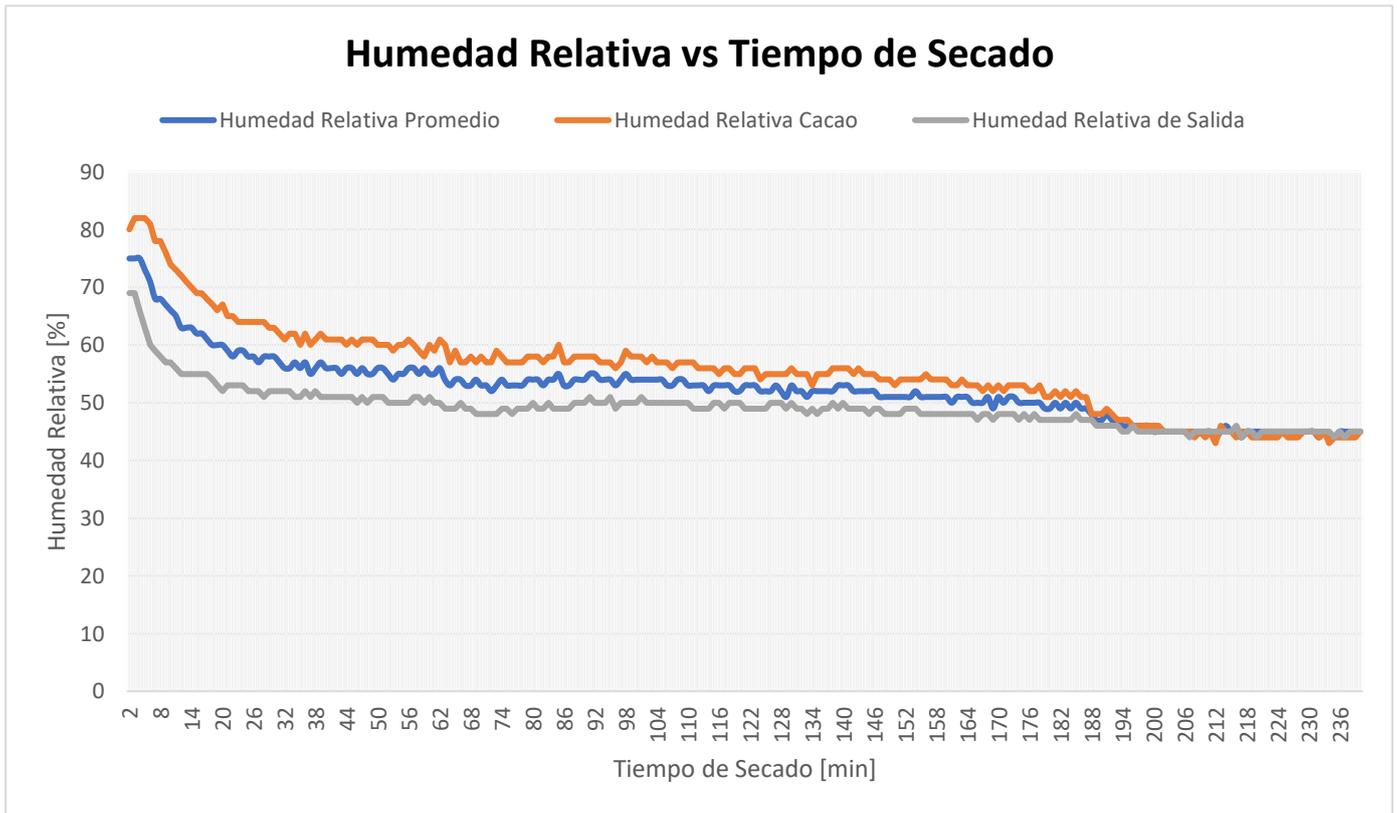
EL PLC LOGO permitió obtener un total de 3607 datos a lo largo de las 4 horas de funcionamiento del equipo, la tabla 3.1 resume los datos obtenidos mediante el cálculo del promedio de humedad y temperatura alrededor de una hora. Además estos datos pueden ejemplificarse en los siguientes diagramas de barras:



**Figura 3-10: Comparativa de la humedad relativa en el sistema durante el ensayo 1**

En el diagrama de la figura 3-10 se puede evidenciar que durante la primera hora de funcionamiento, la humedad en el sistema se encuentra en un rango de 50% a 65%. A medida que el proceso continua la humedad se reduce. En la última hora la humedad relativa es aproximadamente igual en los diferentes puntos de medición, la humedad se sitúa en un aproximado de 45%.

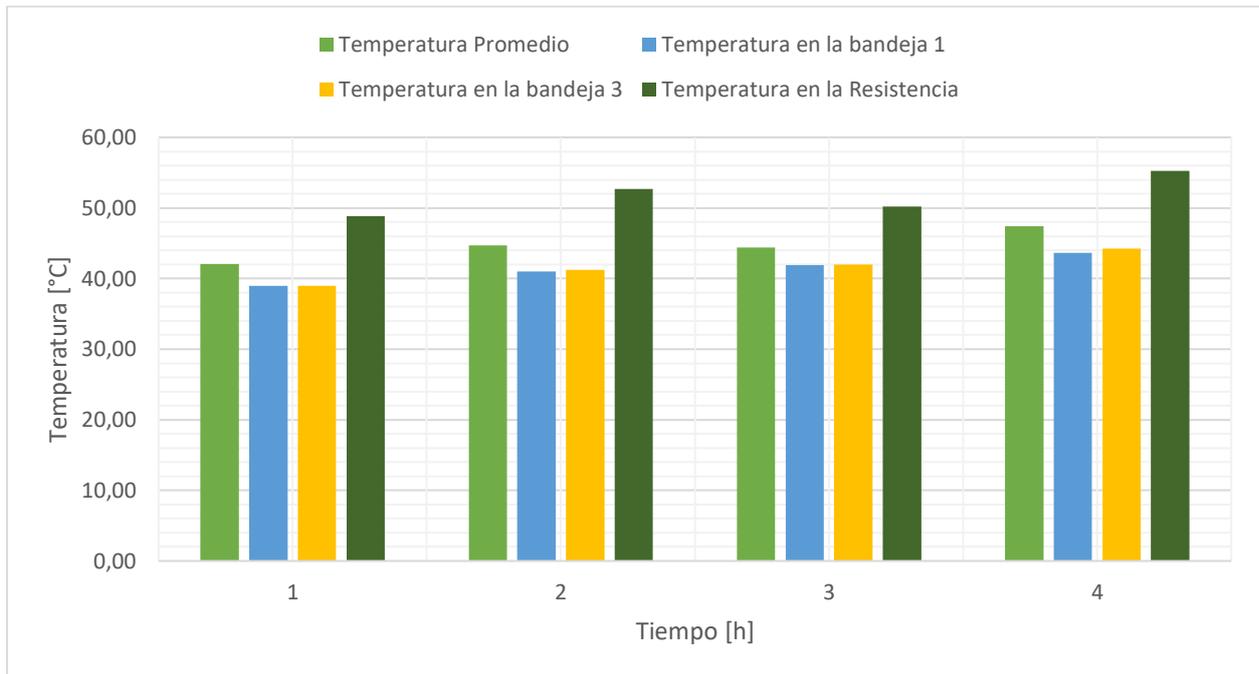
La barra correspondiente a la humedad relativa en el cacao muestra que el uso de una resistencia calefactora durante el lapso de 4 horas, contribuye a una reducción aproximada de 20% sobre la humedad inicial del cacao .



**Figura 3-11: Gráficas de humedad relativa con respecto al tiempo durante el ensayo 1.**

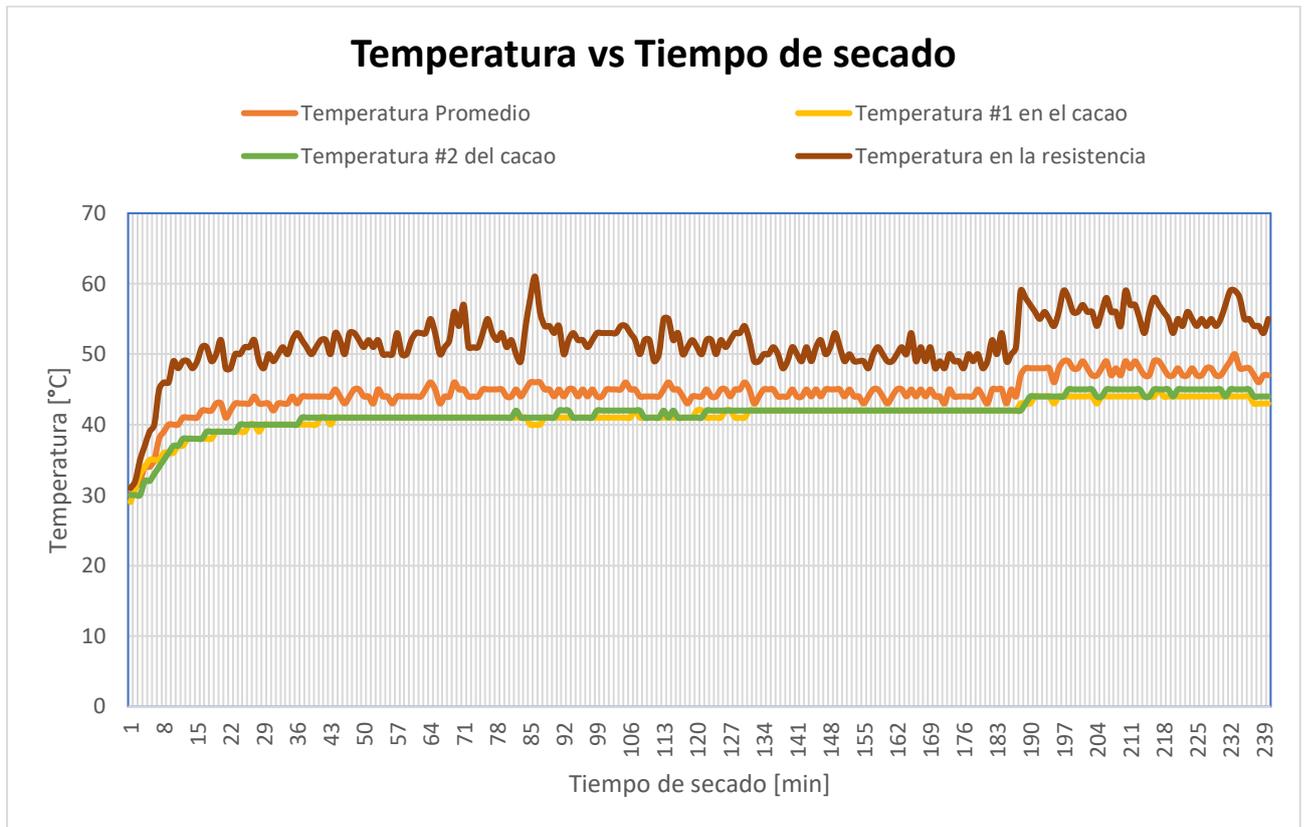
En la figura 3-11 se observa la humedad relativa medida cerca del cacao, gráfica de color naranja. Durante los primeros 10 minutos del proceso la lectura de humedad en el cacao se encuentra sobre el 80%, posteriormente se puede observar una tendencia decreciente con respecto a los porcentajes de humedad. Durante la primera hora la humedad decrece un aproximado de 20 %. Una vez que ha transcurrido una hora desde que el sistema se colocó en funcionamiento se observa que la humedad disminuye en 5% por hora.

La humedad relativa de salida se mide cerca del extractor y se representa con color gris. Se puede observar que aproximadamente después de una hora la humedad de salida se mantiene en un 50%, a partir de este punto la humedad decrece en rangos de 1% a 2% durante una hora, por lo que al completarse el tiempo de secado se obtiene una humedad relativa de 46% tanto en la zona cercana al cacao, como en el área cercana al extractor.



**Figura 3-12: Comparativa de temperatura del sistema durante el ensayo 1.**

El diagrama de barras que se presenta en la figura 3-12 muestra la temperatura tomada en áreas cercanas al cacao (Temperatura en bandeja 1 y Temperatura en bandeja 3) y a la fuente de calor (Temperatura en la resistencia). A lo largo del tiempo se observa que la temperatura de las áreas cercanas al grano aumenta su valor promedio con una tasa de entre 1°C a 2 °C por hora, para mantener este comportamiento se requiere que la temperatura en zonas cercanas a la fuente de calor sea mayor en aproximadamente 10°C con respecto a la temperatura del cacao. Por ejemplo, en la última fracción de hora se puede notar que la temperatura otorgada por la resistencia calefactora se sitúa en 55 °C, mientras que la temperatura en el área del cacao se encuentra cercana a 45 °C. Utilizar una sola resistencia como fuente de calor permite que la temperatura en el área del cacao incremente lentamente, lo que conlleva a que al sistema se le dificulte alcanzar la temperatura de consigna.



**Figura 3-13: Gráficas de temperatura con respecto al tiempo durante el ensayo 1.**

La figura 3-13 permite observar el comportamiento de la temperatura dentro de la cámara de secado, tanto en el área del cacao como en el área cercana a la resistencia. Durante los primeros 15 minutos del proceso se puede observar el incremento de la temperatura dentro de la cámara de secado. El sistema tiene una temperatura inicial cercana a 30 °C, esta temperatura incrementa hasta un aproximado de 50 °C en la resistencia y hasta 40 °C en la zona del cacao. Posteriormente el sistema mantiene oscilaciones de temperatura entre 48 °C y 55 °C en la zona del actuador, este comportamiento permite mantener una temperatura constante de 41 °C dentro de zona del cacao por un tiempo de 2 horas de secado. Luego la temperatura se incrementa en 1 °C obteniendo 42 °C para la tercera hora de secado.

Las variaciones de temperatura en la resistencia se trasladan a valores de entre 54 °C y 59 °C, lo cual mantiene la temperatura final del cacao en un valor de 46 °C durante la última hora de secado.



**Figura 3-14: Granos de cacao luego de 4 horas de secado**

La figura 3-14 corresponde a los granos de cacao sometidos al proceso de secado durante 4 horas. Internamente los granos presentaban un color morado. La cáscara de la semilla se tornó de color café y ganó rigidez.

**Tabla 3-2: Peso del cacao antes y después del proceso de secado.**

	<b>Peso Inicial [g]</b>	<b>Peso Final [g]</b>
<b>Bandeja 1</b>	2000	1620.1
<b>Bandeja 2</b>	2000	1720.5
<b>Bandeja 3</b>	2000	1607.7

La tabla 3.2 permite evidenciar la pérdida de peso del cacao durante el proceso de secado. La bandeja #1 ubicada en la zona alta del secador, cuenta con una pérdida de peso de 379.9 [g]. La bandeja #2 situada en la zona media del secador tiene una pérdida de peso de 279.5 [g]. En la zona baja del secador se colocó la bandeja #3 la cual tuvo una pérdida de peso de 392.3 [g].

**Tabla 3-3: Resumen de los resultados del ensayo 1.**

<b>Temperatura Inicial: 32°C</b>	<b>Temperatura Final: 46°C</b>
<b>Humedad Inicial: 80%</b>	<b>Humedad Final: 46%</b>
<b>Potencia Consumida: 4.415 KW</b>	<b>Tiempo transcurrido: 4 horas</b>

La tabla 3.3 muestra los resultados finales obtenidos durante el ensayo #1. La resistencia calefactora se mantuvo encendida durante todo el tiempo de secado, lo cual permitió aumentar la temperatura de la cámara de secado a un valor de 46°C, sin embargo, no se logró llegar a la temperatura de consigna marcada con 60°C, por lo que se requiere una resistencia calefactora adicional. La potencia consumida por el sistema durante el lapso de 4 horas fue de 4.415 [KW] de los cuales 4 [KW] corresponden a la potencia consumida por la resistencia. Los 415 [W] restantes corresponden a la potencia consumida por el circuito de control, ventilador y extractor.

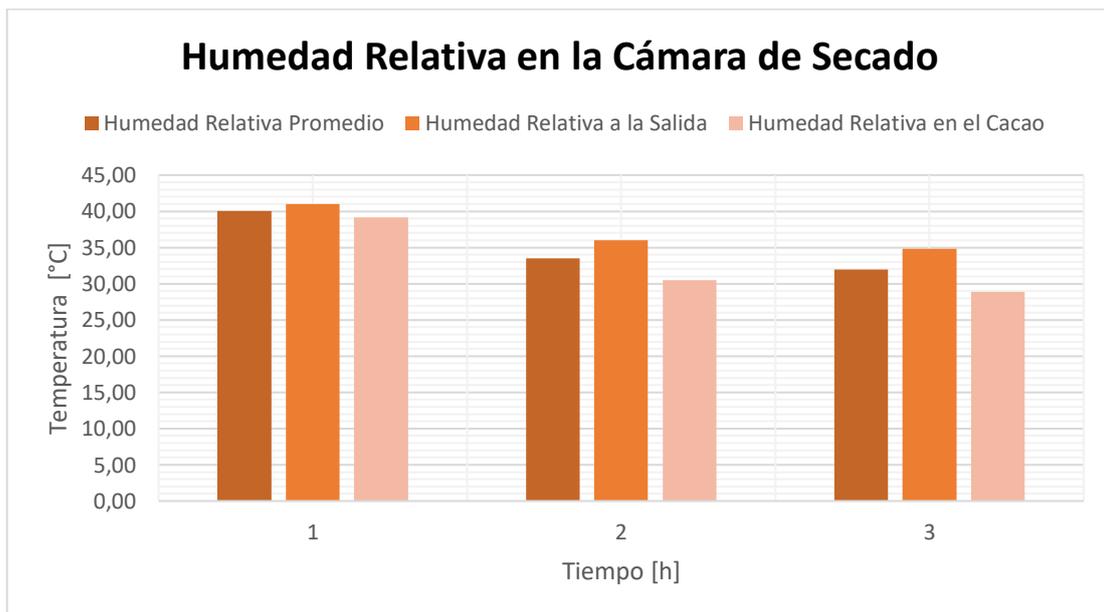
### 3.3.2 Prueba #2 utilizando dos resistencias calefactoras.

En la prueba #2 se utilizan dos resistencias calefactoras. Para el proceso se continuó secando el cacao obtenido del ensayo anterior (figura 3-14) y estableciendo una temperatura de consigna igual a 60 °C. El promedio de humedad y temperatura obtenidos por hora se presenta en la tabla 3-4.

**Tabla 3-4: Promedio por hora de humedad y temperatura en el ensayo 2.**

Tiempo [h]	Humedad Relativa Promedio [%]	Temperatura Promedio [°C]	Humedad Relativa de Salida [%]	Humedad Relativa en el Cacao [%]	Temperatura De Bandeja #1 [°C]	Temperatura de Bandeja #2 [°C]	Temperatura en los actuadores [°C]
1	40.05	54.29	40.98	39.17	51.95	51.11	60.78
2	33.48	56.95	36.03	30.51	54.57	55.30	61.79
3	31.94	56.88	34.83	28.87	54.64	55.34	61.62

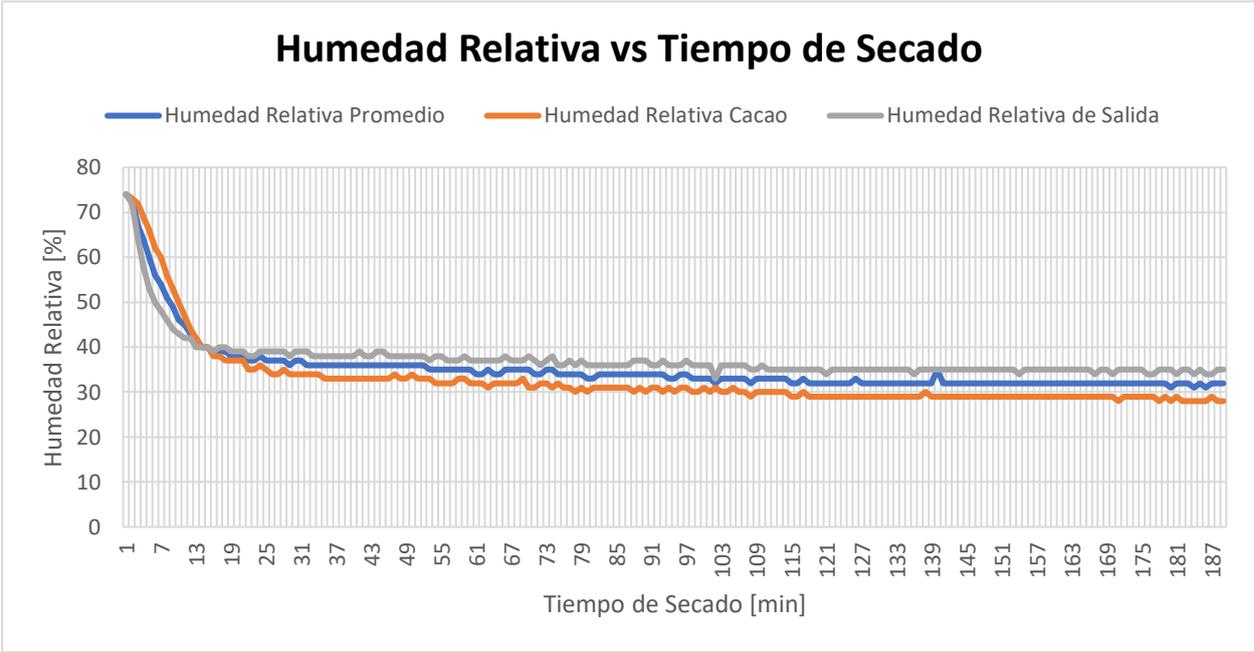
La prueba #2 tuvo una duración de 3 de horas, durante este tiempo el registro de datos del PLC permitió obtener un total de 2826 datos de cada uno de los parámetros establecidos en la tabla 3.4. Cada parámetro representa el promedio del valor medido durante cada hora de funcionamiento del equipo.



**Figura 3-15: Comparativa de la humedad relativa en el sistema durante el ensayo 2.**

En el diagrama de la figura 3-15 se observa que la humedad promedio del cacao se mantiene en valores menores a la humedad promedio de salida. El sistema mantiene una humedad promedio de 40 %, la humedad en el cacao se encuentra un punto por debajo de la humedad promedio, es decir en 39%. En la siguiente hora el promedio de humedad en cacao desciende en 9 puntos, teniendo como resultado una humedad de 30 %. En la última hora, el cambio en la humedad se realiza con mayor lentitud, pues la

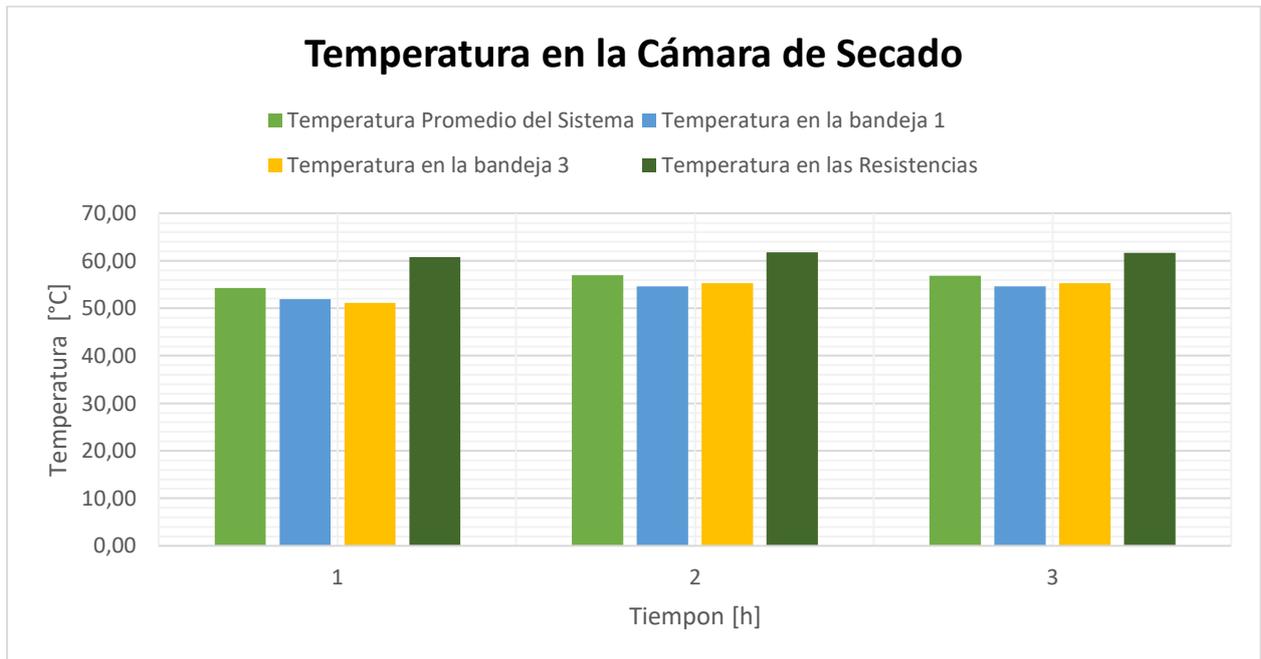
humedad promedio en el cacao desciende únicamente hasta un promedio de 28%.



La figura 3-16 permite observar el comportamiento de los distintos parámetros de

**Figura 3-16: Graficas de humedad relativa con respecto al tiempo durante el ensayo 2.**

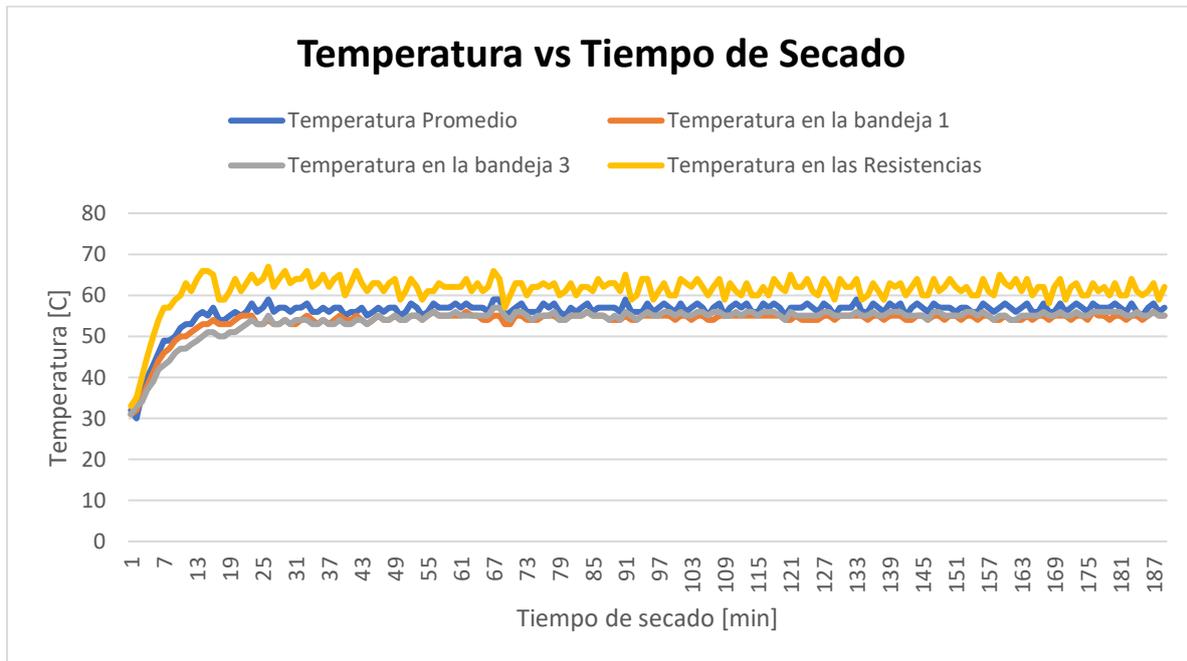
humedad con respecto al tiempo. Durante la prueba 2 la humedad relativa en el cacao se mantiene por debajo de la humedad de salida en el sistema. Durante los primeros 26 minutos de funcionamiento la humedad del cacao muestra un descenso de 40 puntos porcentuales sobre la humedad inicial, es decir, la humedad se reduce de 74% a 34%. A partir de los 26 minutos del proceso la humedad del cacao continúa decreciendo y alcanza un valor de 29% una vez se han cumplido dos horas de secado, dicho valor se mantiene constante para la última hora de secado.



**Figura 3-17: Comparativa de temperatura del sistema durante el ensayo 2.**

El promedio de temperatura en el cacao durante una hora de funcionamiento del prototipo se encuentra alrededor de 51 °C, para mantener esta temperatura en la cámara de secado se requiere que, en promedio, la temperatura de las resistencias se encuentre cercana a 61 °C. Durante la segunda hora, el promedio de temperatura en los actuadores se mantiene en 61 °C, durante este tiempo la temperatura en el cacao se eleva en 4 °C con respecto a la temperatura promedio anterior.

En la hora final los valores se mantienen constantes, lo que permite reconocer una diferencia de 5 °C en la temperatura promedio, con respecto a la temperatura de operación requerida.



**Figura 3-18: Gráficas de temperatura con respecto al tiempo durante el ensayo 2**

La temperatura inicial del sistema es de 32 °C y en transcurso de 3 horas de funcionamiento el sistema alcanza una temperatura de 55 °C, en la zona de las bandejas de cacao. Al sistema le toma un tiempo de 15 minutos alcanzar el 90% del valor final de temperatura, esto es 53 °C en la bandeja de cacao #1. Por otro lado, la bandeja de cacao #3 requiere de un tiempo de 22 minutos para lograr elevar la temperatura del cacao hasta 53 °C.

El control se realiza en torno al promedio de temperatura que corresponde a la gráfica de color azul en la figura 3-17. El promedio de temperatura en la cámara de secado a lo largo del tiempo oscila entre valores de 55 °C hasta 59 °C, es decir el sistema toma valores cercanos a la variable de consigna, en comparación con el ensayo #1. Sin embargo, la temperatura en el grano de cacao se mantiene 5 °C por debajo de la temperatura de consigna. Por lo que en el siguiente ensayo se optará por comparar el promedio de temperatura en la zona del cacao, con respecto a la temperatura de consigna.

**Tabla 3-5: Peso del cacao antes y después del proceso de secado.**

	Peso Inicial [g]	Peso Final [g]
<b>Bandeja 1</b>	1620.1	1346.4
<b>Bandeja 2</b>	1720.5	1400.4
<b>Bandeja 3</b>	1607.7	1344

La tabla 3.5 permite establecer la pérdida de peso del cacao ubicado en cada una de las bandejas de la cámara de secado. La bandeja 1 tiene una pérdida de peso de 274.1 [g], la bandeja 2 presenta una diferencia de peso de 320.1 [g] con respecto a su peso inicial. Finalmente, la bandeja 3 pierde un total de 263.7 [g].

**Tabla 3-6: Peso del cacao antes y después del proceso de secado.**

Temperatura Inicial: 32°C	Temperatura Final: 55°C
Humedad Inicial: 74%	Humedad Final: 28%
Potencia Consumida: 4.188 KW	Tiempo transcurrido: 3 horas

La tabla 3.6 muestra los datos finales obtenidos del proceso de secado de cacao, la temperatura final en la zona del cacao alcanzo los 55 °C y la humedad relativa en el cacao desciende hasta el 28% en un tiempo de 3 horas. La potencia consumida durante las 3 horas de funcionamiento es de 4.188 [KW].

### **Consumo de potencia durante la prueba #2**

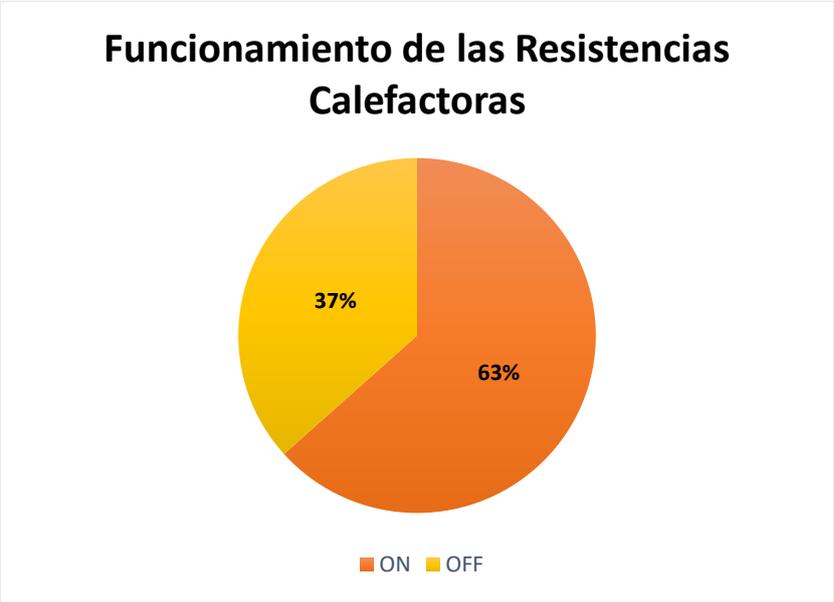
El PLC LOGO proporciona la información de los momentos en los que las resistencias se mantuvieron encendidas o apagadas. Esto permite estimar el consumo de potencia de los actuadores durante el control On/Off de temperatura.

**Tabla 3-7: Duración de encendido y apagado de las resistencias durante cada hora de funcionamiento. Estimación de potencia consumida por las resistencias en cada hora de funcionamiento**

N.º Horas	Duración de Encendido [h]	Duración de Apagado [h]	Potencia Consumida por Resistencia 1 [KW]	Potencia Consumida por Resistencia 2 [KW]
<b>1</b>	0.75	0.25	0.75	0.75
<b>2</b>	0.56	0.44	0.56	0.56
<b>3</b>	0.59	0.41	0.59	0.59
<b>Total</b>	<b>1.90</b>	<b>1.10</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>

La tabla 3.7 secciona la duración del proceso de secado por horas. En la tabla mencionada se muestra que durante los primeros 60 minutos de funcionamiento del secador la duración de encendido de las resistencias es de 0.75 [h], lo que corresponde

al 75% de la primera fracción de hora tomada. Esto indica que durante la primera hora de funcionamiento se produce el mayor consumo de potencia en el sistema. Para la hora #2 el tiempo de encendido de los actuadores tiene una duración de 0.54 [h], lo cual sugiere que el tiempo de encendido de las resistencias se reduce en un 19% con respecto a la hora anterior. Finalmente, para la hora #3 el tiempo de encendido de las resistencias se eleva en un 3%, esto quiere decir que las resistencias permanecen encendidas durante el 59% de la última fracción de hora tomada.



**Figura 3-19: Porcentajes de trabajo de los actuadores durante el control on/off del ensayo 2.**

La figura 3-19 ejemplifica el porcentaje de encendido y apagado de los actuadores del sistema durante las 3 horas de prueba para el proceso de secado. Cada resistencia del sistema consume 1[KWh], lo que implica que durante un encendido continuo o del 100% del tiempo de operación los actuadores consumirían una potencia total de 6 [KW].

Mediante el control ON/OFF el tiempo de encendido de las resistencias se regula a un 63%, como consecuencia la potencia total consumida por las dos resistencias durante el lapso de 3 horas es equivalente a 3.8 [KW]. La potencia total consumida por el sistema es de 4.188 [KW] (tabla 3-6), por lo tanto, cerca del 90% de la potencia consumida por el sistema es utilizada por las fuentes de calor, el 10% restante permite el funcionamiento del circuito de control, ventilador y extractor.

### 3.3.3 Prueba de validación final utilizando dos resistencias calefactoras.

Durante esta prueba se utilizó una muestra de cacao con un peso aproximado de 3.3 Kg, dicho peso fue ubicado en tres bandejas dentro del secador, cuyo equivalente se lo presenta en la tabla siguiente.

Tabla 3-8: Peso Comparativo ubicado en las bandejas del secador

	Peso Inicial [g]	Peso Final [g]
<b>Bandeja 1</b>	1126.3	711.2
<b>Bandeja 2</b>	1126.4	704.2
<b>Bandeja 3</b>	1058.1	661.5

En la tabla 3.8 mostrada observamos el peso inicial ubicado en las 3 diferentes bandejas para el secado de los granos de cacao. Además, también observamos el peso final después de completar el tiempo de secado del ciclo. Para esta prueba se tuvo los granos de cacao dentro del secador con un ciclo de operación con un tiempo total de 10 horas.

Tabla 3-9: Parámetros de la prueba de validación

Temperatura Inicial: 33°C	Temperatura Final: 57°C
Humedad Inicial: 77%	Humedad Final: 25%
Potencia Total Consumida: 13.58 Kw	Tiempo transcurrido: 10 horas

En la tabla 3.9 podemos observar los parámetros iniciales y finales tanto para la temperatura, humedad, potencia consumida y el tiempo transcurrido de operación en el secador. Estos datos fueron obtenidos directamente durante el ciclo de trabajo, siendo almacenados en una tarjeta de memoria colocada en el PLC, el mismo que almacenó 900 datos durante la prueba, con los cuales se realizaron diferentes gráficas para un análisis más completo.

El proceso de secado inicialmente constituye un proceso de fermentación del grano antes de ser ubicadas en las bandejas del secador. Este proceso dura alrededor de 2 días en proceso de fermentación al sol.

Después de cumplirse el tiempo de fermentación, los granos son ubicados en las bandejas para el secado.



**Figura 3-20: Bandejas con muestra de cacao fermentado.**

En la figura 3-20 observamos las muestras de cacao iniciales que se introducirán en bandejas directamente en el secador. Estas semillas tienen un peso aproximado de 3.3[kg].



**Figura 3-21: Secador con las bandejas**

En la figura 3-21 observamos las bandejas ubicadas dentro de la cámara de secado para proceder con el proceso de secado de los granos. El secador se mantuvo bajo sombra con la finalidad de simular un día nublado.



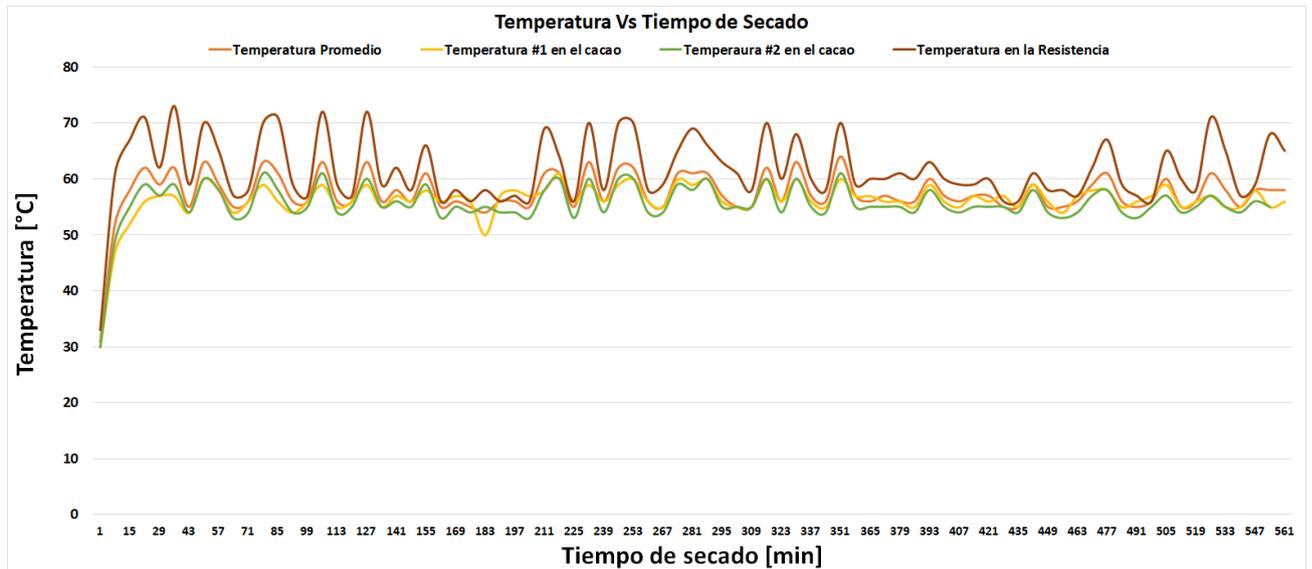
**Figura 3-22: Bandejas con muestra de cacao después del proceso de secado.**

En la figura 3-22 se muestran las bandejas de los granos de cacao después del ciclo de 10 horas en el secador, obteniendo un secado uniforme manteniendo las características deseadas para el usuario final.

**Tabla 3-10: Promedio por hora de humedad y temperatura en la prueba final.**

Tiempo [h]	Humedad Relativa Promedio [%]	Temperatura Promedio [°C]	Humedad Relativa Salida [%]	Humedad Relativa Cacao [%]	Temperatura sensor 1 [°C]	Temperatura sensor 2 [°C]	Temperatura sensor 3 [°C]
1	38.30	56.89	37.26	39.23	53.28	54.24	64.06
2	30.98	58.32	32.94	28.90	56.48	56.52	62.76
3	29.28	57.31	31.44	26.68	56.55	56.01	60.38
4	28.41	57.23	30.75	25.68	57.23	55.29	60.01
5	27.52	57.60	30.34	24.50	56.63	55.55	61.08
6	26.87	57.95	29.82	23.59	56.49	55.89	61.95
7	26.66	57.40	29.78	23.28	56.18	55.55	61.22
8	26.57	57.04	29.66	23.07	56.12	55.19	60.41
9	26.80	57.87	29.95	23.33	56.75	55.83	61.70
10	27.69	58.76	30.73	24.28	56.38	55.90	64.83

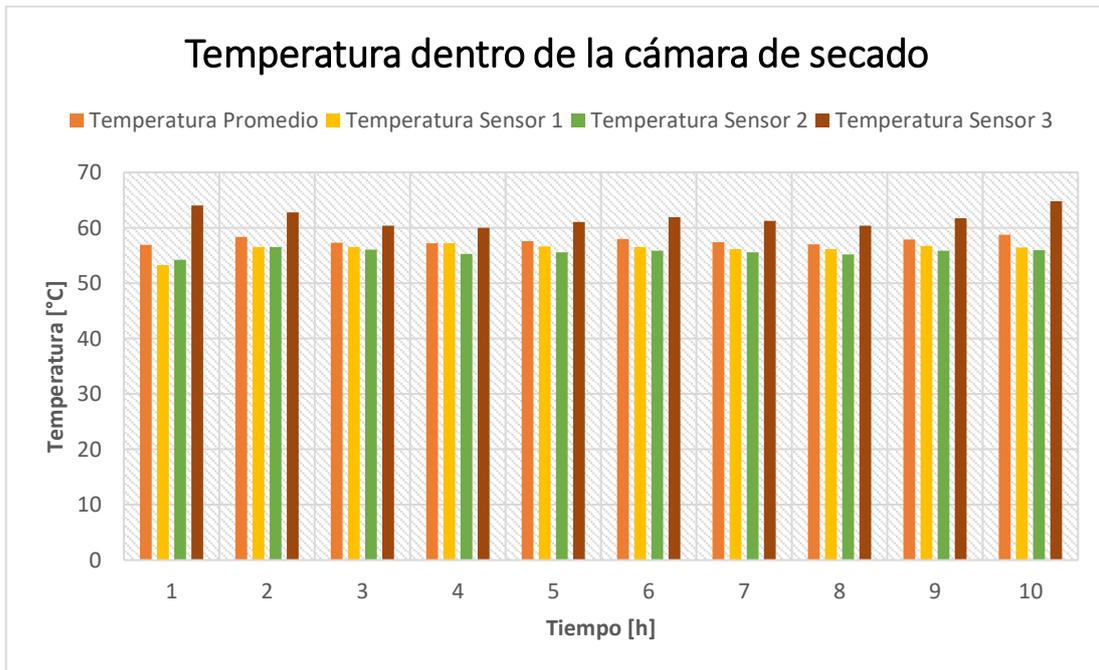
La prueba de validación final tuvo una duración de 10 de horas, durante este tiempo el registro de datos del PLC permitió obtener un total de 9012 datos de cada uno de los parámetros establecidos en la tabla 3.10. Cabe destacar que en esta prueba la humedad inicial del sistema es cercana al 80%, en la tabla mencionada cada parámetro representa el promedio del valor medido durante cada hora de funcionamiento del equipo.



**Figura 3-23: Gráficas de Temperatura con respecto al tiempo**

La figura 3-23 permite observar el comportamiento de la temperatura dentro de la cámara de secado, tanto en el área del cacao como en el área cercana a la resistencia. Durante los primeros 15 minutos del proceso se observa el incremento de la temperatura dentro de la cámara de secado. El sistema tiene una temperatura inicial cercana a 30 °C, esta temperatura incrementa hasta un aproximado de 70 °C en la resistencia y hasta 60 °C en la zona del cacao. Posteriormente el sistema mantiene oscilaciones de temperatura entre 55 °C y 61 °C en la zona del actuador, este comportamiento permite mantener una temperatura constante de 58 °C dentro de zona del cacao por un tiempo de 4 horas de secado. Luego la temperatura se incrementa en 1 °C obteniendo 59 °C para la quinta hora de secado.

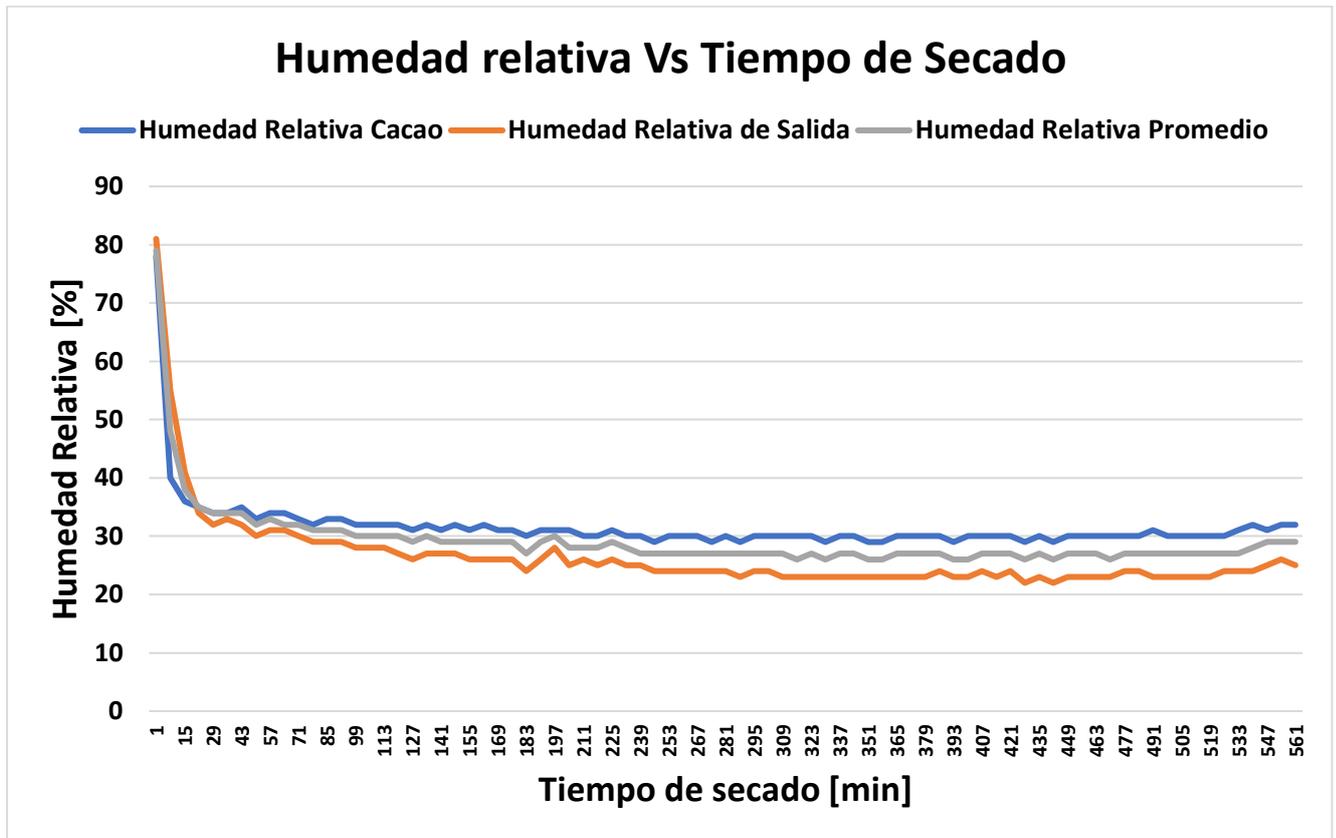
Las variaciones de temperatura en la resistencia se trasladan a valores de entre 55 °C y 61 °C, lo cual mantiene la temperatura final del cacao en un valor de 58 °C durante la última hora de secado.



**Figura 3-24: Comparativa de temperatura del sistema durante el ensayo final.**

El promedio de temperatura en el cacao durante una hora de funcionamiento del prototipo se encuentra alrededor de 54 °C, para mantener esta temperatura en la cámara de secado se requiere que, en promedio, la temperatura de las resistencias se encuentre cercana a 62 °C. Durante la segunda hora, el promedio de temperatura en los actuadores se mantiene en 63 °C, durante este tiempo la temperatura en el cacao se eleva en 4 °C con respecto a la temperatura promedio anterior.

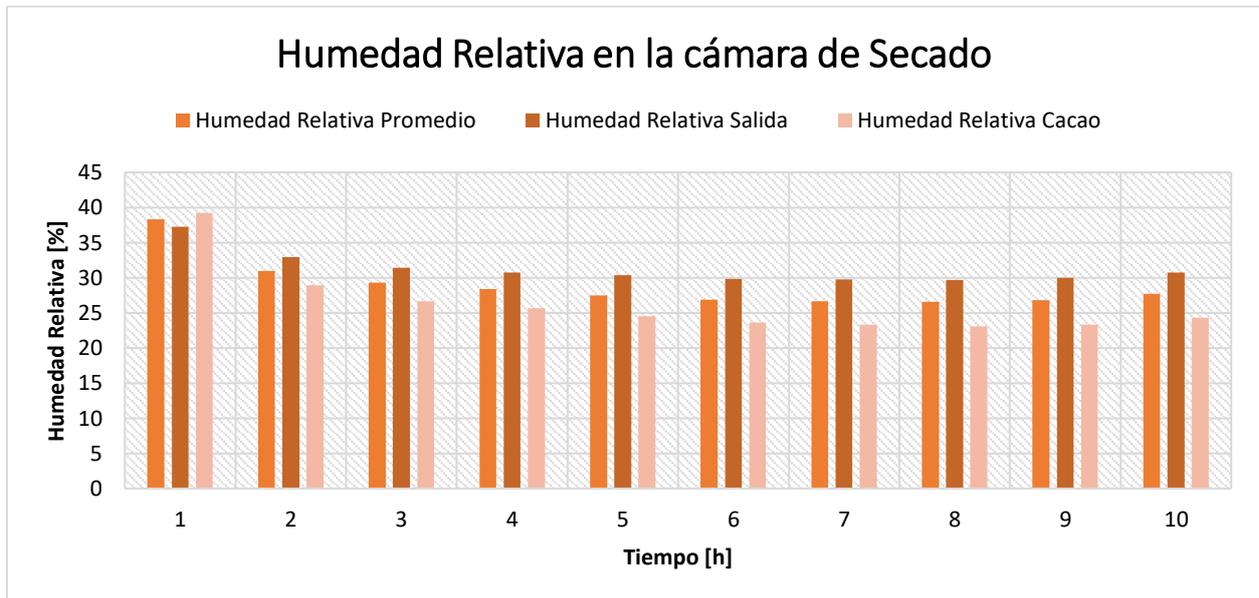
En la hora final los valores se mantienen constantes, lo que permite reconocer una diferencia de 5 °C en la temperatura promedio, con respecto a la temperatura de operación requerida.



**Figura 3-25: Gráficas de Humedad relativa con respecto al tiempo**

En la figura 3-25 se observa la humedad relativa medida cerca del cacao, gráfica de color azul. Durante los primeros minutos del proceso la lectura de humedad en el cacao se encuentra sobre el 80%, posteriormente se puede observar una tendencia decreciente con respecto a los porcentajes de humedad. Durante la primera hora la humedad decrece hasta un aproximado de 30 %. Una vez que ha transcurrido una hora desde que el sistema se colocó en funcionamiento se observa que la humedad disminuye en 3% por hora.

La humedad relativa de salida se mide cerca del extractor y se representa con color naranja. Se puede observar que aproximadamente después de una hora la humedad de salida se mantiene en un 25%, a partir de este punto la humedad decrece en rangos de 1% a 2% durante una hora, por lo que al completarse el tiempo de secado se obtiene una humedad relativa de 28% tanto en la zona cercana al cacao, como en el área cercana al extractor.



**Figura 3-26: Comparativa de la humedad relativa en el sistema durante el ensayo final.**

En el diagrama de la figura 3-26 se observa que la humedad promedio del cacao se mantiene en valores menores a la humedad relativa del cacao. El sistema mantiene una humedad promedio de 38 %, la humedad en el cacao se encuentra un punto por encima de la humedad promedio, es decir en 39%. En la siguiente hora el promedio de humedad en cacao desciende en 10 puntos, teniendo como resultado una humedad de 29 %. En la última hora el cambio en la humedad se realiza con mayor lentitud, pues la humedad promedio en el cacao desciende únicamente hasta un promedio de 24%.

### Consumo de Potencia durante la prueba final.

El PLC LOGO proporciona la información de los momentos en los que las resistencias se mantuvieron encendidas o apagadas. Esto permite estimar el consumo de potencia de los actuadores durante el control On/Off de temperatura.

**Tabla 3-11: Duración de encendido y apagado de la resistencia 1 durante cada hora de funcionamiento. Estimación de potencia consumida por las resistencias en cada hora de funcionamiento.**

N.º Horas	Duración de Encendido [h]	Duración de Apagado [h]	Potencia Consumida por Resistencia 1 [KW]
1	0.952	0.048	0.952
2	0.877	0.123	0.877
3	0.871	0.129	0.871
4	0.854	0.146	0.854
5	0.872	0.128	0.872
6	0.878	0.122	0.878
7	0.913	0.087	0.913
8	0.917	0.083	0.917
9	0.858	0.142	0.858
10	0.887	0.113	0.887
<b>Total</b>	<b>8.878</b>	<b>1.122</b>	<b>8.878</b>

La tabla 3.11 secciona la duración del proceso de secado por horas. En la tabla mencionada se muestra que durante los primeros 60 minutos de funcionamiento del secador la duración de encendido de las resistencias es de 0.952 [h], lo que corresponde a del 90% de la primera fracción de hora tomada.

La resistencia 1 permanece encendida cerca del 90% en promedio por hora durante todo el ciclo, con lo que se tendría un consumo considerable de potencia, siendo el total en las 10 horas el consumo de la resistencia 1 de 8.878 [KW].



**Figura 3-27: Porcentajes de trabajo de los actuadores durante el control on/off del ensayo 2**

La figura 3-27 ejemplifica el porcentaje de encendido y apagado de los actuadores del sistema durante las 10 horas de prueba para el proceso de secado. Cada resistencia del sistema consume 1[KWh], lo que implica que durante un encendido continuo o del 100% del tiempo de operación la resistencia 1 consumiría una potencia total de 9 [KW].

Mediante el control ON/OFF el tiempo de encendido de la resistencia 1 se regula a un 89%, como consecuencia la potencia total consumida por la resistencia 1 durante el lapso de 10 horas es equivalente a 8.878 [KW]. La potencia total consumida por el sistema es de 13.58 [KW] (tabla 3.11), por lo tanto, cerca del 65% de la potencia consumida por el sistema es utilizada por resistencia 1 o fuente de calor 1, mientras que el porcentaje restante permite el funcionamiento del circuito de control, ventilador y extractor.

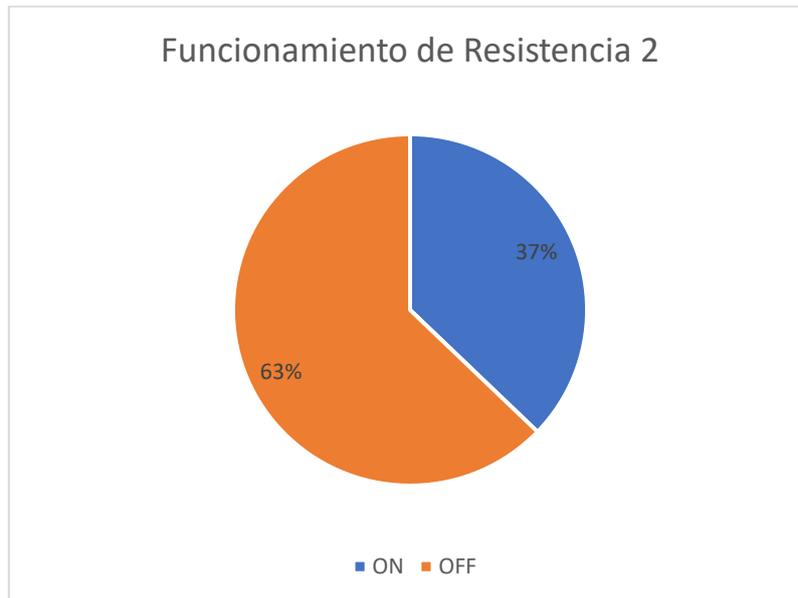
**Tabla 3-12: Duración de encendido y apagado de la resistencia 1 durante cada hora de funcionamiento. Estimación de potencia consumida por las resistencias en cada hora de funcionamiento.**

<b>N.º Horas</b>	<b>Duración de Encendido [h]</b>	<b>Duración de Apagado [h]</b>	<b>Potencia Consumida por Resistencia 2 [KW]</b>
<b>1</b>	0.778	0.222	0.778
<b>2</b>	0.426	0.574	0.426
<b>3</b>	0.393	0.607	0.393
<b>4</b>	0.354	0.646	0.354
<b>5</b>	0.337	0.663	0.337
<b>6</b>	0.241	0.759	0.241
<b>7</b>	0.212	0.788	0.212
<b>8</b>	0.206	0.794	0.206
<b>9</b>	0.412	0.588	0.412
<b>10</b>	0.360	0.640	0.360
<b>Total</b>	<b>3.719</b>	<b>6.281</b>	<b>3.719</b>

La tabla 3.12 secciona la duración del proceso de secado por horas. En la tabla mencionada se muestra que durante los primeros 60 minutos de funcionamiento del secador la duración de encendido de la resistencia 2 es de 0.778 [h], lo que corresponde a del 75% de la primera fracción de hora tomada.

Para la hora #2 el tiempo de encendido del actuador tiene una duración de 0.426 [h], lo cual sugiere que el tiempo de encendido de la resistencia 2 se reduce en un 30% con respecto a la hora anterior.

La resistencia 2 permanece encendida cerca del 25% en promedio por hora al momento de pasar las primeras 5 horas de todo el ciclo, siendo el total en las 10 horas el consumo de la resistencia 1 de 3.719 [KW].



**Figura 3-28: Porcentajes de trabajo de los actuadores durante el control on/off del ensayo 2.**

La figura 3-28 ejemplifica el porcentaje de encendido y apagado de los actuadores del sistema durante las 10 horas de prueba para el proceso de secado. Cada resistencia del sistema consume 1 [KWh], lo que implica que durante un encendido continuo o del 100% del tiempo de operación la resistencia 2 consumiría una potencia total de 4 [KW].

Mediante el control ON/OFF el tiempo de encendido de la resistencia 1 se regula a un 37%, como consecuencia la potencia total consumida por la resistencia 1 durante el lapso de 10 horas es equivalente a 3.719 [KW]. La potencia total consumida por el sistema es de 13.58 [KW] (tabla 3.12), por lo tanto, cerca del 27% de la potencia consumida por el sistema es utilizada por resistencia 2 o fuente de calor 1, mientras que el porcentaje restante permite el funcionamiento del circuito de control, ventilador y extractor.

### 3.4 Análisis de costo del Sistema

Para el proyecto propuesto tenemos el beneficio de bajo costo, debido a que se presenta el uso de controlador Logo de la marca Siemens que además de ser robusto y fiable, es económico, para expandir el número de entradas analógica al PLC, se lo realizó con ayuda de un multiplexor analógico en conjunto con el diseño de la parte electrónica de un generador de ondas, que además brinda un bajo consumo de potencia.

El sistema fotovoltaico provee la energía necesaria para poder abastecer todo el sistema mientras las baterías se encuentren cargadas, lo cual generaría un ahorro al utilizar el secador en la noche. Se considera factible la utilización de este mecanismo de ayuda al sistema y que sirve de respaldo en caso que no haya fluido eléctrico en la comunidad de Bucay.

**Tabla 3-13: Tabla de costos de los elementos del sistema**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
<b>Sensor de Temperatura</b>	3	\$21.00	\$63.00
<b>Sensor de Humedad</b>	2	\$27.00	\$54.00
<b>PLC Logo</b>	1	\$181.00	\$181.00
<b>Multiplexor analógico</b>	1	\$6.00	\$6.00
<b>Fuente de voltaje DC</b>	1	\$30.00	\$30.00
<b>Componentes de circuito generador de onda</b>	1	\$10.00	\$10.00
<b>Placa electrónica</b>	1	\$21.00	\$21.00
<b>Componentes electrónicos</b>	1	\$10.00	\$10.00
		<b>Total</b>	<b>\$375</b>

La tabla 3.13 muestra el costo de cada elemento necesario para el desarrollo del sistema de control del secador artificial de cacao, el cual da un total de USD 375 que con los beneficios que brinda es una muy buena opción para los productores cacaoteros del país. El sistema es robusto, fiable con características industriales que garantizan su vida útil y operabilidad por mucho tiempo.

**Tabla 3-14: Tabla de costos por servicio de ingeniería**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
<b>Software LOGO SoftComfort V8.3</b>	1	\$70	\$70
<b>Diseño de placa Electrónica</b>	1	\$10.00	\$10.00
<b>Mano de Obra e ingeniería.</b>	1	\$700.00	\$700.00
		<b>Total</b>	<b>\$780</b>

Adicional, se muestra el costo total por el servicio de ingeniería brindado al realizar el diseño de los circuitos del sistema y uso de software necesario para la programación del PLC LOGO. El costo final tomando en cuenta los servicios de ingeniería y los elementos que conforman el sistema es de \$1155. El cual es un precio accesible y atractivo para los pequeños y medianos productores de cacao. Cabe recalcar que esta inversión puede ser recuperada en un máximo de 5 años

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones:

- Se implementó un control de temperatura de tipo On/Off que permite modificar las condiciones ambientales dentro de la cámara de secado con la finalidad de obtener un ambiente óptimo para el secado de granos de cacao. Esto se evidenció gracias a que a lo largo del tiempo la temperatura de cacao se mantiene oscilando entre 55 °C y 60 °C evitando cambios bruscos de temperatura dentro del secador de cacao y regulando la temperatura por medio del control On/Off y la inercia térmica del sistema.
- La implementación del generador de onda cuadrada y divisor de frecuencia permiten automatizar el proceso de selección de entradas analógicas utilizando el multiplexor analógico 74HC4067, el cual, frente a los módulos de expansión de entradas analógicas del PLC Logo representa una alternativa económica y permite la expansión del sistema hasta un total de 16 entradas analógicas. Esto permite que el sistema de control pueda ser adaptado a diferentes secadores de cacao.
- Con la finalidad de garantizar un sistema de control económico y fiable para los pequeños y medianos productores de cacao, se realizó la implementación de una interfaz hombre-máquina utilizando el display incorporado en el PLC Logo, evitando así, que se requiera el uso de una pantalla externa, lo cual supondría un costo adicional. La interfaz de usuario implementada permite que el operador pueda modificar parámetros como temperatura y tiempo de secado, esto brinda la posibilidad de adaptar las condiciones de secado a las requeridas por el operador. Además, la interfaz facilita realizar el seguimiento de las variables del proceso mostrándolas en gráficos de barra o directamente en texto.

- La fiabilidad de la instrumentación seleccionada se evidencia a través del tiempo de operación del prototipo, es decir, durante un rango de 10 horas continuas los sensores de humedad (AM2001) y temperatura (PT100) fueron sometidos a elevadas temperaturas y mantuvieron sus características lineales en la lectura de las variables físicas. Además, el circuito oscilador y el multiplexor analógico, junto con el PLC Logo mostraron un gran sincronismo para el tratamiento de las señales analógicas, garantizando así el control adecuado del proceso.
- Los resultados de las pruebas realizadas mostraron que el mayor de consumo de potencia se encuentra dado por el número de resistencias calefactoras que se agreguen al proceso. A su vez, la potencia consumida por las resistencias puede ser regulada dependiendo del rango de temperatura de encendido y apagado configurado en la programación del PLC.
- Un apagado y encendido simultáneo de las resistencias en temperaturas con una diferencia de 2°C con respecto al punto de operación, minimiza el tiempo de encendido de las resistencias a lo largo del proceso, lo cual a su vez disminuye el consumo de potencia, sin embargo, la conmutación en los relés internos del PLC aumenta produciendo un mayor desgaste mecánico. Por otro lado, establecer un rango de apagado diferente para cada resistencia disminuye el desgaste mecánico en las salidas del PLC, pero el consumo de potencia puede aumentar en un promedio de 160 W por hora, dependiendo de los rangos escogidos y configurados en la programación del controlador.

#### **4.2 Recomendaciones:**

- El proceso de secado de cacao, y de granos en general, forma parte de la cadena de transformación de múltiples productos, por lo que se invita al desarrollo e investigación de sistemas de control de temperatura y humedad que permitan automatizar este tipo de procesos, con la finalidad de ayudar y acelerar el posicionamiento de los pequeños y medianos productores en el mercado.
- El sistema de control implementado puede ser adaptado a una interfaz de usuario externa, como un ordenador de escritorio o pantalla táctil, que permita visualizar una mayor cantidad de contenido por pantalla, también, se evitaría el uso de pulsadores o selectores en el circuito de control y se liberarían entradas físicas del PLC.
- El diseño del sistema puede mejorarse aprovechando la conexión con la nube de Amazon Web Services que ofrece el PLC Logo V8.3. Con esta funcionalidad el operario podría iniciar, detener y dar seguimiento al proceso desde cualquier lugar

con acceso a internet. A su vez, existen otras alternativas que permiten realizar el control remoto del proceso por medio de la conexión entre el PLC Logo, una red Wi-fi local y un panel de mando.

- Un factor determinante para la efectividad del sistema de control se basa en la ubicación de los sensores tanto de humedad como de temperatura. La temperatura y humedad dentro del prototipo varía en cada punto de la cámara de secado por lo que se sugiere evitar ubicar los sensores en zonas donde puedan ser contaminados con la humedad y temperatura del ambiente externo.

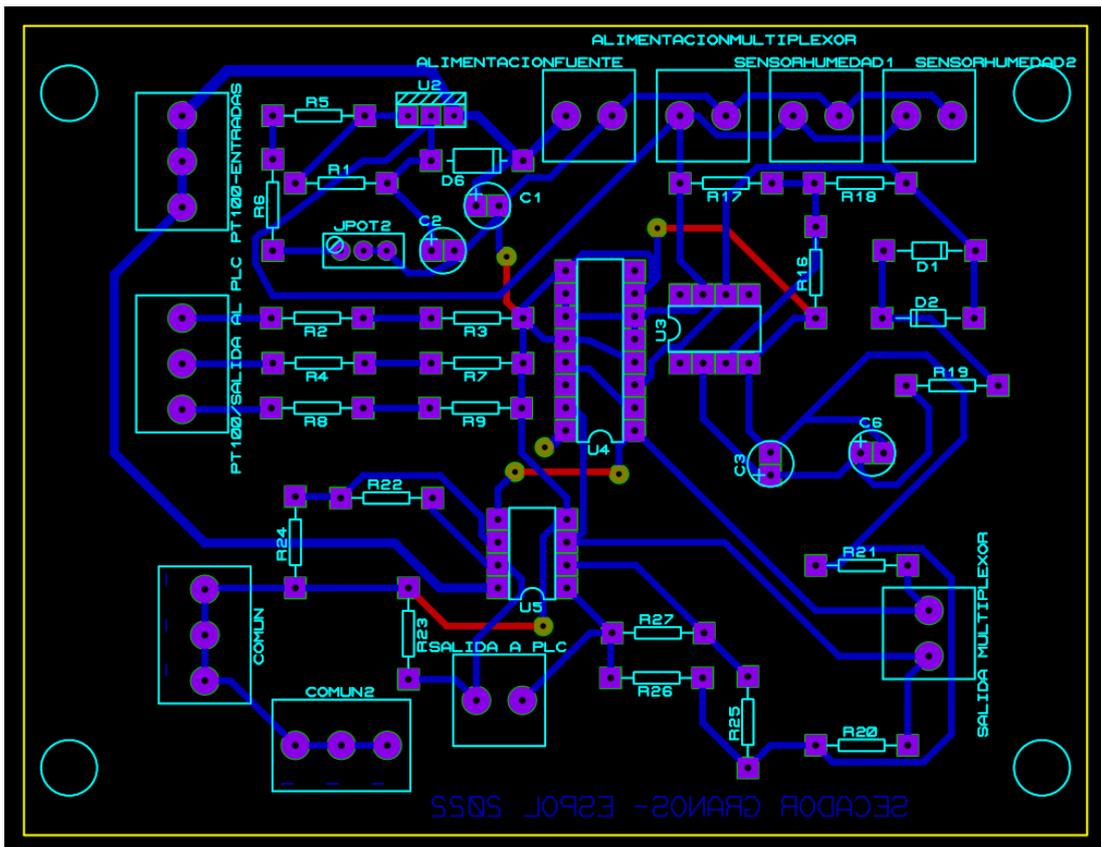
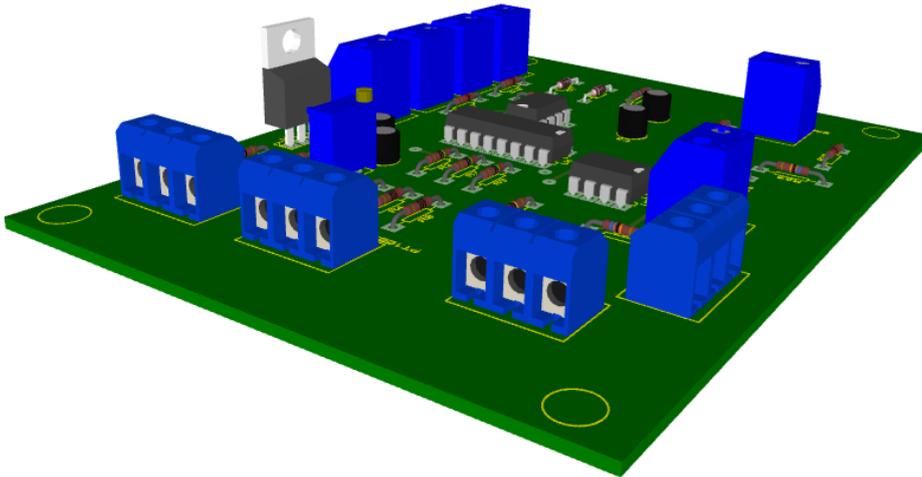
# BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Sánchez, "Caracterización organoléptica del cacao ( *Theobroma cacao* L .) , para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial," pp. 52–55, 2007, [Online]. Available: [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Caracterizacion\\_organoleptica\\_cacao\\_Theobroma\\_cacao\\_L.\\_seleccion\\_arboles\\_perfiles\\_sabor\\_interes\\_comercial.pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Caracterizacion_organoleptica_cacao_Theobroma_cacao_L._seleccion_arboles_perfiles_sabor_interes_comercial.pdf).
- [2] Anecacao, *Revista especializada en cacao*, vol. 3, no. Parte II. 2018.
- [3] Anecacao, "El cacao Ecuatoriano," 2015. <http://www.anecacao.com/index.php/es/noticias/el-cacao-ecuadoriano.html#:~:text=En el país se cultivan,%2C desde la época colonial.&text=Existen registros de que Ecuador,uno de los mayores exportadores>.
- [4] I. R. Carrasco Díaz, "Propuesta para el uso de tipos de secado de cacao con su incidencia en la calidad del grano," Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, 2015.
- [5] Iniap, "Programa Nacional de Cacao," p. 2, 2006, [Online]. Available: [https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1662/1/secado de cacao.PDF](https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1662/1/secado%20de%20cacao.PDF).
- [6] A. Nuñez, S., Moscoso, R., Rivas, "Automatización de los procesos de secado y selección del cacao ecuatoriano conservando las características sensoriales y previniendo riesgos laborales.," UNMSM, 2017.
- [7] S. Julio and N. Solano, *Declaración De Autoría Y Aceptación De Tesis*. 2017.
- [8] N. Bustamante, *Sensores de temperatura , pH y detergentes para control medioambiental con un prototipo que utiliza fibra óptica y luminiscencia con resolución de fase*. 2001.
- [9] J. Bausà, C. Garcóa, B. Zaragozaí, A. Martínez, D. Moreno, and A. Galiana, "Sensores de Temperatura: Medida de Temperatura," *Sensores de temperatura*, pp. 1–51, 2021.
- [10] C. Mathas, "Digi\_Key.," *Digi\_Key*. <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2011/oct/temperature-sensors-the-basics>.
- [11] R. Sensors, "Sensores," 2019. <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura>.
- [12] Electrónica Lugo, "Sensores," 2021. <https://electronicalugo.com/sensor-de-humedad-tipos-y-principio-de-funcionamiento/>.
- [13] J. L. R. Josep Balcells Sendra, *Autómatas Programables*, 2nd ed. Barcelona, 1997.
- [14] Electrónica Fácil, "Sensor de tensión: Principio de funcionamiento, tipos y diagrama de circuito." <https://www.electronicafacil.top/sensores/sensor-de-tension-principio-de-funcionamiento-tipos-y-diagrama-de-circuito/>.
- [15] Arrow, "Sensores de corriente," 2019, [Online]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/categories/sensors/current-sensors>.
- [16] DEWESoft, "Cómo Medir la Corriente Usando Sensores y Transductores de Corriente," 2020. <https://dewesoft.com/es/daq/como-medir-corriente-usando-sensores-de-corriente>.
- [17] J. C. Villajulca, "Control ON/OFF o Todo/Nada," 2019. .

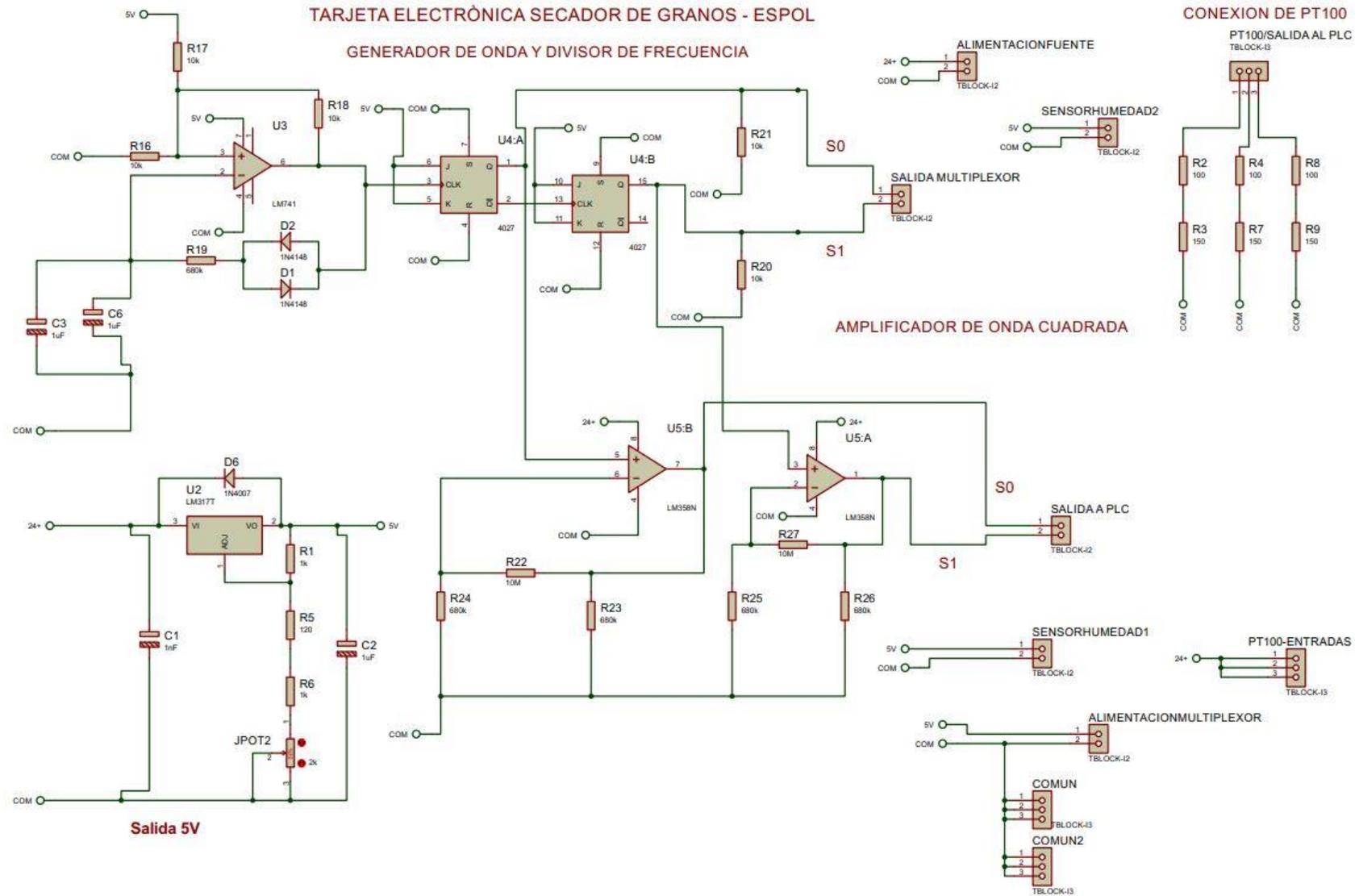
- [18] Acciona, “Energía Fotovoltaica,” 2020. <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>.
- [19] E. Solar, “Energía Solar Fotovoltaica,” vol. 1, 2008.
- [20] H. Vallejo, “Los Controladores Lógicos Programables,” *Saber Electrónica*, vol. 166, pp. 3–11, 2001.
- [21] Siemens, “Logo! Manual Edición 06/2003,” p. 322, 2003.
- [22] Autracen, “Estructura del PLC,” 2020. <https://www.autracen.com/blog/blog-autracen-1/estructura-de-plc-51>.
- [23] G.-N. W. Devinder T., Suraj D., “Transformation from Petri Nets Model to Programmable Logic Controller Using One-to-One Mapping Technique, en: Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation,” vol. 2, pp. 228–233, 2005.
- [24] R. Hall S., Cockerham K., “What’s your Color? [Human-Machine Interface Design].,” *IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 1999 - Proceedings*, vol. 8, pp. 50–54, 2002.
- [25] Omega, “Introducción y tipos de sensores Pt100,” 2020. <https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>.
- [26] Beamex, “ensor de temperatura Pt100 – lo que hay que saber,” 2019. <https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber>.
- [27] N. Mechatronics, “TRANSFORMADOR DE VOLTAJE AC - ZMPT101B.” <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/393-transformador-de-voltaje-ac-zmpt101b.html>.
- [28] N. Mechatronics, “Sensores SCT-013,” 2019. [https://naylampmechatronics.com/blog/51\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html](https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html).

# ANEXOS

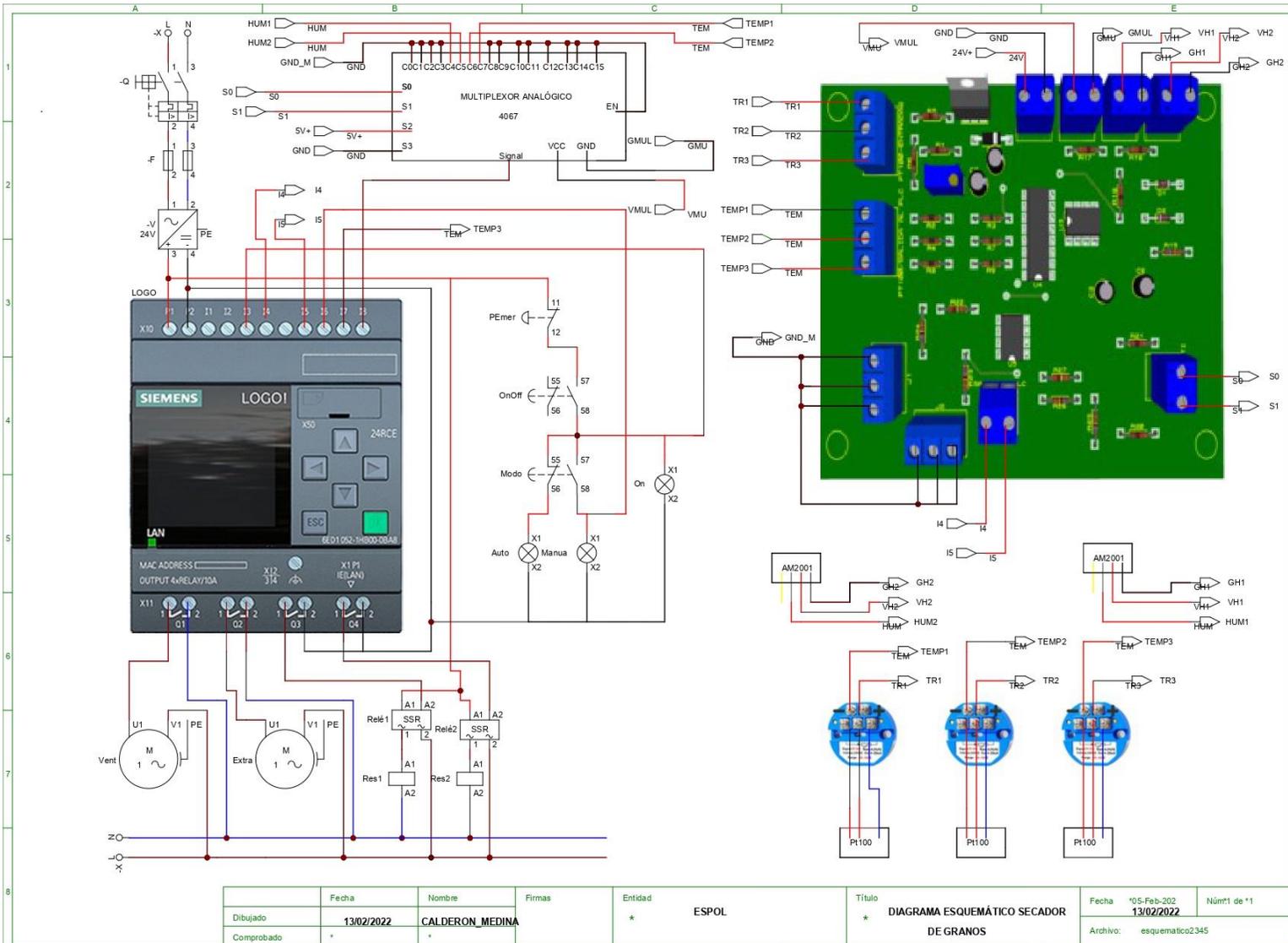
## ANEXO 1: Diseño de placa PCB para el circuito generador de onda y acondicionamiento de sensores



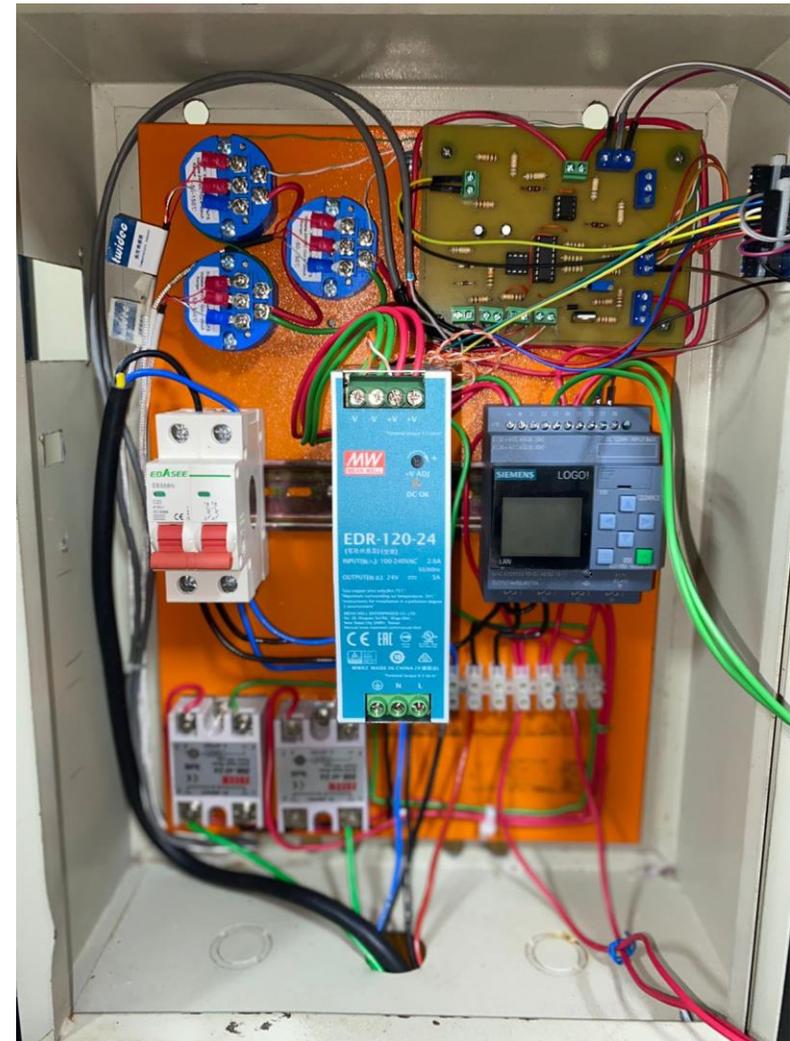
# ANEXO 2: Diagrama esquemático de la tarjeta electrónica



# ANEXO 3: Diagrama de conexiones del circuito de control



# ANEXO 4: Tablero de Control

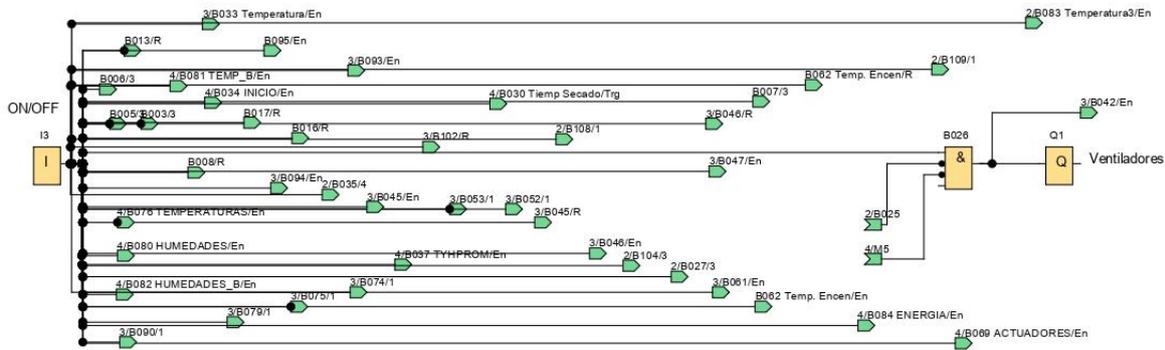


# ANEXO 5: Programación de bloques en el PLC Logo

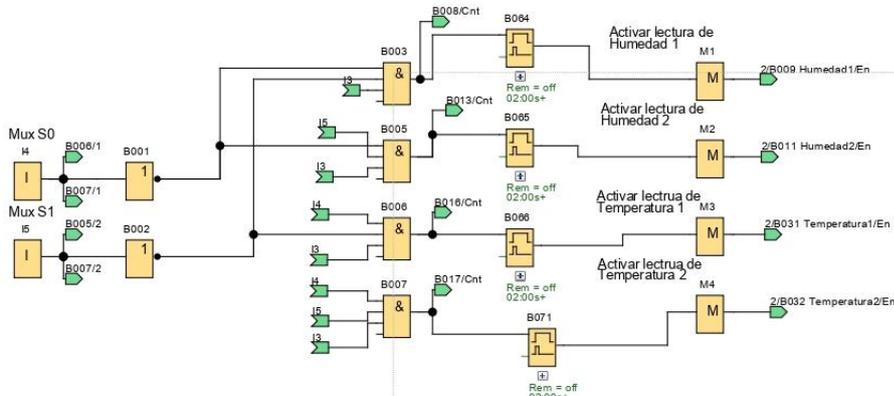
## Secador de Granos de Cacao

### Programación del PLC LOGO!

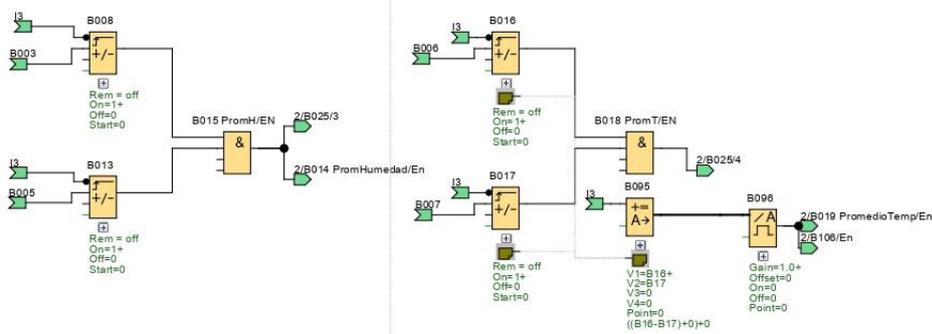
#### Inicio del Programa



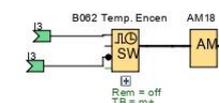
#### Señales para seleccionar el sensor del multiplexor analógico



#### Confirmación de lectura de Datos

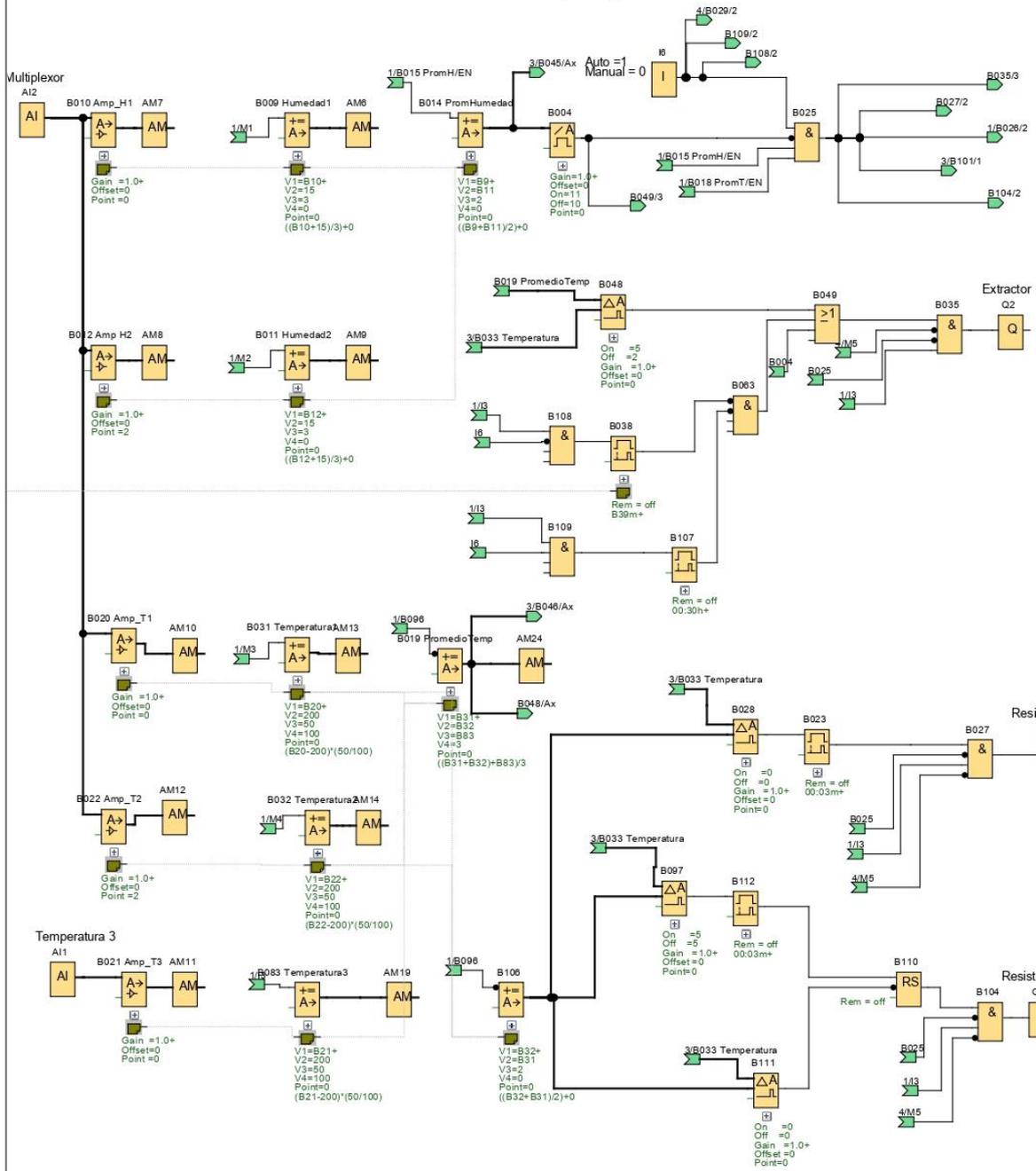


#### Contabilizar tiempo de la máquina encendida

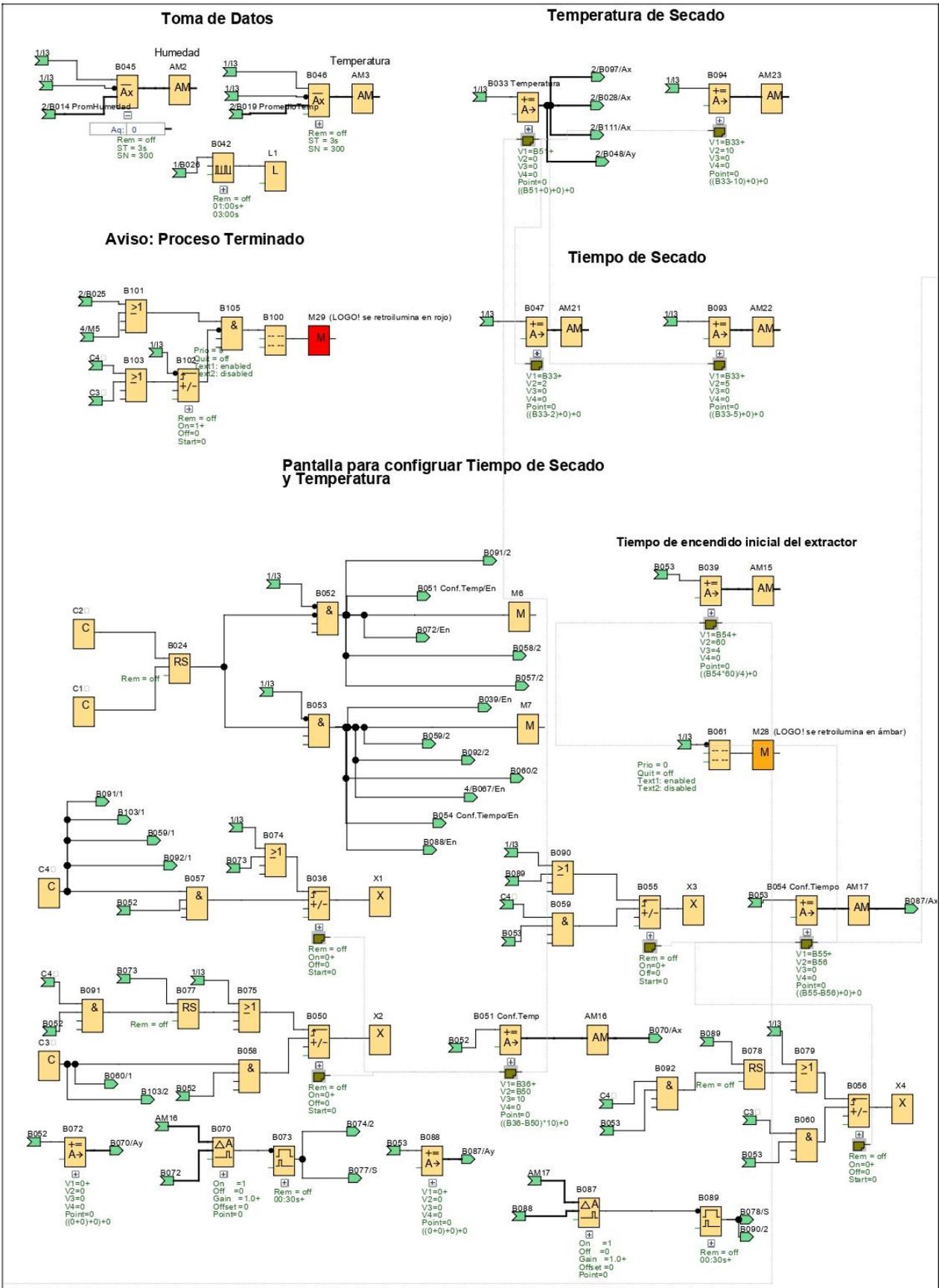


Autor:	Kevin Calderon / Johann Medina	ESPOL	Proyecto:	Secador De Cacao	Cliente:	Dra. Emérita Delgado
Comprobado:			Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	2021/11/21/05/22 17:23		archivo:	SECADOR DE CACAO_N.Isc	Página:	1 / 4

## Control de Humedad y Temperatura

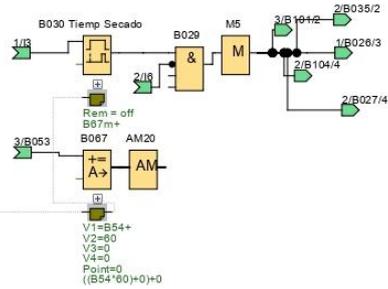


Autor:	Kevin Calderon / Johann Medina	ESPOL	Proyecto:	Secador De Cacao	Cliente:	Dra. Emérita Delgado
Comprobado:			Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	11:21:55/02/22 17:23		archivo:	SECADOR DE CACAO_N.Isc	Página:	2 / 4

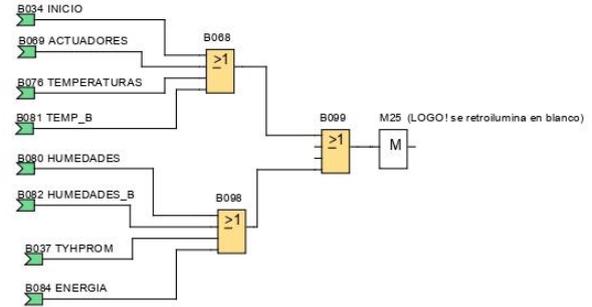


Autor:	Kevin Calderon / Johann Medina	ESPOL	Proyecto:	Secador De Cacao	Cliente:	Dra. Emérita Delgado
Comprobado:			Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	04/12/2021 11:21:50/22/22 17:23		archivo:	SECADOR DE CACAO_N.lsc	Página:	3 / 4

### Tiempo de Secado Concluido

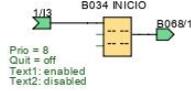


### Establecer color blanco para la pantalla del PLC LOGO

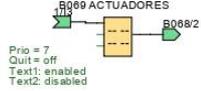


### Pantallas del sistema

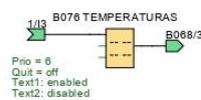
#### Inicio (1)



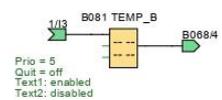
#### Actuadores (2)



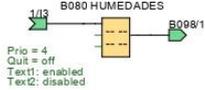
#### Temperaturas (3)



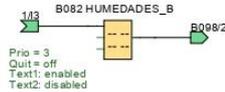
#### Temperaturas en Gráfico de Barras(4)



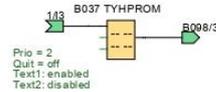
#### Humedades (5)



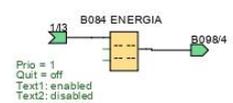
#### Humedades en Gráfico de Barras(6)



#### Temperatura y Humedad promedio en Gráfico de Barras(7)



#### Energía consumida (8)



Autor:	Kevin Calderon / Johann Medina	ESPOL	Proyecto:	Secador De Cacao	Cliente:	Dra. Emérita Delgado
Comprobado:			Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	11/21/5/02/22 17:23		archivo:	SECADOR DE CACAO_N.lsc	Página:	4 / 4

# ANEXO 6: Hoja de datos del breaker general. Breaker EBASEE EBS6

## EBS6BN Miniature Circuit Breaker



### Product Description

Apply to low-voltage terminal power distribution system with AC 50/60Hz, rated voltage 230V/400V. With short circuit, over-load, control and isolation functions



### Nomenclature

EBS 6BN - 63 / 1P C 16

Rated current  $I_n$ (A): 1,2,3,4,6,10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63A  
 Tripping curve: B,C,D  
 Poles: 1P, 1P+N,2P, 3P, 3P+N ,4P,  
 Frame Level: 63A  
 Design code  
 Company code

### Product Features

- > Adopt global leading product platform, stable performance
- > Full & new accessories, full protection functions
- > Breaking capacity is 6kA for full series, superior performance
- > Add 1P+N, 3P+N, full specifications

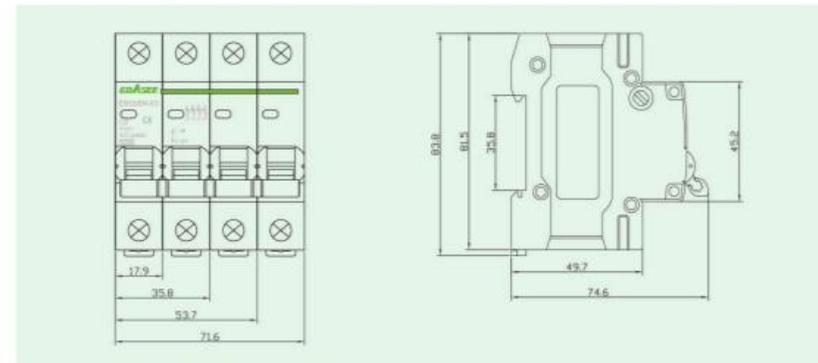
### Function

- > Short-circuit, Over-load and Isolation
- > ON/ OFF status Indicator
- > Double wiring terminals could be connected cable, U type and needle type busbar
- > Easy installation and changing on 35mm Din rail

### Technical Parameter

Standard	IEC/EN 60898-1
Poles	1P, 1P+N,2P, 3P, 3P+N,4P
Rated current $I_n$ (A)	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63A
Rated Voltage $U_n$ (V)	1P: 240/415V 50/60Hz 1P+N: 240V 50/60Hz 2P, 3P, 3P+N, 4P: 415V 50/60Hz
Tripping Curve	B, C, D
Breaking capacity $I_{cn}$ (A)	6000
Protection level	IP20
Electrical life	15000 times
Installation	Installed on 35mm DIN rail

### Dimensions



### Order Note

Following items should be marked when ordering	Ordering sample
Product name and model	To order EBS6BN-63 Miniature circuit breaker, 2 Poles, curve C, rated current 20A, quantity is 100 pieces, should be marked :
Frame level	EBS6BN-63/2PC20 100PCS.
Poles	
Curve characteristic, rated current	
Quantity	

# ANEXO 7: Hoja de datos de la fuente DC MEAN

## WELL EDR -120-24



120W Single Output Industrial DIN RAIL

EDR-120 series



### ■ Features

- Universal AC input / Full range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Cooling by free air convection
- Can be installed on DIN rail TS-35/7.5 or 15
- UL 508 (industrial control equipment) approved
- BS EN/EN61000-6-2(BS EN/EN50082-2) industrial immunity level
- 100% full load burn-in test
- 2 years warranty

### ■ Applications

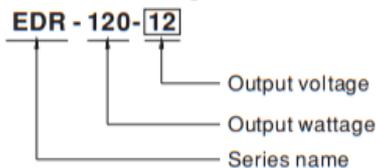
- Industrial control system
- Semiconductor fabrication equipment
- Factory automation
- Electro-mechanical apparatus

### ■ Description

EDR-120 is one economical slim 120W DIN rail power supply series, adapt to be installed on TS-35/7.5 or TS-35/15 mounting rails. The body is designed 40mm in width, which allows space saving inside the cabinets. The entire series adopts the full range AC input from 90VAC to 264VAC and conforms to BS EN/EN61000-3-2, the norm the European Union regulates for harmonic current.

EDR-120 is designed with metal housing that enhances the unit's power dissipation. With working efficiency up to 88.5%, the entire series can operate at the ambient temperature between -20°C and 60°C under air convection. It is equipped with constant current mode for over-load protection, fitting various inductive or capacitive applications. The complete protection functions and relevant certificates for industrial control apparatus (UL508, TUV BS EN/EN62368-1, and etc.) make EDR-120 a very competitive power supply solution for industrial applications.

### ■ Model Encoding





**SPECIFICATION**

MODEL	EDR-120-12	EDR-120-24	EDR-120-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	24V	48V
	RATED CURRENT	10A	5A	2.5A
	CURRENT RANGE	0 ~ 10A	0 ~ 5A	0 ~ 2.5A
	RATED POWER	120W	120W	120W
	RIPPLE & NOISE (max.) <i>Note.2</i>	100mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	12 ~ 14V	24 ~ 28V	48 ~ 55V
	VOLTAGE TOLERANCE <i>Note.3</i>	±2.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME	1200ms, 60ms/230VAC    2500ms, 60ms/115VAC at full load		
HOLD UP TIME (Typ.)	16ms/230VAC    10ms/115VAC at full load			
INPUT	VOLTAGE RANGE <i>Note.6</i>	90 ~ 264VAC    127 ~ 370VDC	[DC input operation possible by connecting AC(L+), AC(N/-)]	
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz		
	EFFICIENCY (Typ.)	85%	87.5%	88.5%
	AC CURRENT (Typ.)	2.25A/115VAC    1.3A/230VAC		
	INRUSH CURRENT (Typ.)	20A/115VAC    35A/230VAC		
	LEAKAGE CURRENT	<1mA / 240VAC		
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 130% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed		
	OVER VOLTAGE	14 ~ 17V	29 ~ 33V	56 ~ 65V
	OVER TEMPERATURE	Shut down o/p voltage, re-power on to recover		
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +60°C (Refer to "Derating Curve")		
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 95% RH non-condensing		
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH		
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)		
	VIBRATION	Component:10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes; Mounting: Compliance to IEC60068-2-6		
SAFETY & EMC <i>(Note 4)</i>	SAFETY STANDARDS	UL508, TUV BS EN/EN62368-1, EAC TP TC 004, BSMI CNS 14336-1, ISI3252(Part1)/IEC60950-1 approved; (meet BS EN/EN60204-1)		
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC    I/P-FG:2KVAC    O/P-FG:0.5KVAC		
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG>100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH		
	EMC EMISSION	Compliance to BS EN/EN55032 (CISPR32) Class A, BS EN/EN61000-3-2,-3, EAC TP TC 020, CNS13438 Class A		
	EMC IMMUNITY	Compliance to BS EN/EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, BS EN/EN55024, BS EN/EN61000-6-2 (BS EN/EN50082-2), heavy industry level, criteria A, EAC TP TC 020		
OTHERS	MTBF	474.6K hrs min.    MIL-HDBK-217F (25°C)		
	DIMENSION	40*125.2*113.5mm (W*H*D)		
	PACKING	0.6Kg; 20pcs/13Kg/1.16CUFT		
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</p> <p>2. Ripple &amp; noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf &amp; 47uf parallel capacitor.</p> <p>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p> <p>4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives.</p> <p>5. Installation clearances : 40mm on top, 20mm on the bottom, 5mm on the left and right side are recommended when loaded permanently with full power. In case the adjacent device is a heat source, 15mm clearance is recommended.</p> <p>6. Derating may be needed under low input voltage. Please check the derating curve for more details.</p> <p>7. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).</p> <p>※ Product Liability Disclaimer : For detailed information, please refer to <a href="https://www.meanwell.com/serviceDisclaimer.aspx">https://www.meanwell.com/serviceDisclaimer.aspx</a></p>			

# ANEXO 8: Relé de estado sólido FOTEK SSR-40A



## Single phase AC to AC Solid State Module

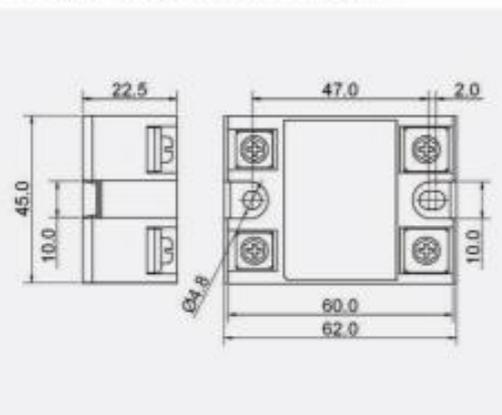
### ■ Specification [ Rated current corresponding to Resistive load ]

Type	型式	Standard type / 標準型				
Model	型號	SSR - 10AA	SSR - 25AA	SSR - 40AA	SSR - 50AA	SSR - 75AA
Rated current	額定電流	10A max.	25A max.	40A max.	50A max.	75A max.
It for fuse	熔斷電流	144A <sup>2</sup> S	259A <sup>2</sup> S	664A <sup>2</sup> S	518A <sup>2</sup> S	1328A <sup>2</sup> S
Surge current	耐突波電流	135A	275A	410A	550A	820A
Peak voltage	耐突波電壓	1200VAC min.				
Output voltage	輸出電壓	24 ~ 380VAC				

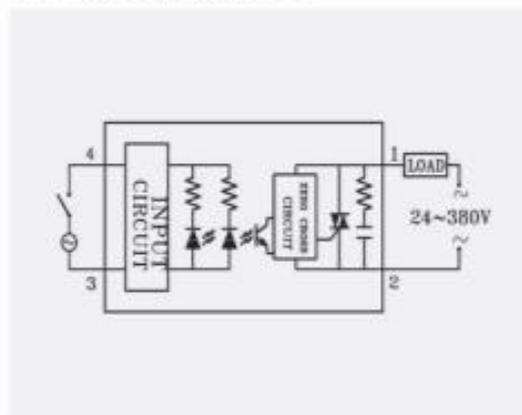
Type	型式	High voltage type / 高壓型				
Model	型號	SSR - 10AA-H	SSR - 25AA-H	SSR - 40AA-H	SSR - 50AA-H	SSR - 75AA-H
Rated current	額定電流	10A max.	25A max.	40A max.	50A max.	75A max.
It for fuse	熔斷電流	144A <sup>2</sup> S	259A <sup>2</sup> S	664A <sup>2</sup> S	518A <sup>2</sup> S	1328A <sup>2</sup> S
Surge current	耐突波電流	135A	275A	410A	550A	820A
Peak voltage	耐突波電壓	1200VAC min.				
Output voltage	輸出電壓	90 ~ 480VAC				

General specification / 共同規格		
Input voltage	輸入電壓	80 ~ 250 VAC 50/60Hz
Turn off voltage	關閉電壓	< 35 VAC
Trigger current	觸發電流	1.0VA max.
Control method	控制方式	Zero cross switching
Leakage current	洩漏電流	5 mA max.
Response time	反應時間	8.3 ms (60Hz) max.
Input immunity	輸入耐突波	2 KV (EN61000-4-4)
Isolation strength	電介強度	4 KVrms (EN60950/VDE0805)
Insulation strength	絕緣強度	100MΩ / 500VDC (EN60950/VDE0805)
Housing material	外殼材質	防火ABS (UL: 94V0)
Circumstance	工作環境	-40°C ~ +80°C ; 35 ~ 85%RH

### ■ Outline dimension / 外形尺寸



### ■ Connection / 接線圖



# ANEXO 9: Luces piloto Camsco de 24 VDC

## Componentes de Control - Pilot Light AD16-22D/S (LED TYPE)

Inicio > Productos > Componentes de Control > Componentes de Control - Pilot Light AD16-22D/S (LED TYPE)



### INTRODUCTION

- ▶ Pilot Light AD16-22D/S (LED TYPE)
- ▶ Voltage :  
(AC/DC) 6V, 12V, 24V, 36V, 48V, 110V  
(AC) 220V, 380V  
(DC) 220V
- ▶ Color : Red, Yellow, Blue, Green, White
- ▶ Item No : AD16-30D/S Ø30, AD16-22D/S  
Ø22, Ø25 common use